



Editora
Bernoulli



FÍSICA

Volume 03





FÍSICA Volume 03

Frente A

05 3 Movimento
circular Autor:
Francisco Pazzini
Couto

06 15 Leis de
Newton Autor:
Francisco Pazzini
Couto

Frente B

05 27 1ª Lei da
Termodinâmica Autor:
Luiz Machado

06 39 2ª Lei da
Termodinâmica Autor:
Luiz Machado

Frente C

05 51 Lentes
esféricas Autor: Lívio

Ribeiro Canto

06 63 Instrumentos
ópticos Autor: Lívio
Ribeiro Canto

Sumário - Física Frente D 07

75 Associação de resistores Autores: Luiz
Machado Lívio Ribeiro Canto

08 85 Resistores no
dia a dia Autores: Luiz
Machado

Lívio Ribeiro Canto

09 99 Instrumentos
de medidas elétricas
Autores: Luiz Machado

Lívio Ribeiro Canto

2 Coleção Estudo

**FÍSICA MÓDULO FRENTE Movimento
circular 05 A**

Nos módulos anteriores, estudamos as propriedades imediatamente: o ponto mais externo percorrerá uma

fundamentais dos movimentos retilíneos, utilizando trajetória de comprimento maior que o comprimento da

grandezas como distância percorrida, deslocamento, trajetória do outro ponto, apesar de ambos descreverem

velocidade e aceleração para caracterizá-los. Neste módulo, o mesmo ângulo central no mesmo intervalo de tempo.

discutiremos algumas grandezas que nos auxiliam na Isso nos mostra que precisamos de uma grandeza para

descrição e na caracterização dos movimentos curvilíneos. descrever a velocidade de giro (velocidade angular) e de

Esses movimentos estão presentes em várias situações de outra para descrever a velocidade com a qual a trajetória

nosso dia a dia e em muitos dispositivos: uma bola lançada (circular) é percorrida (velocidade linear). obliquamente, os carros realizando uma curva em uma v

estrada e as engrenagens das máquinas são alguns

exemplos

de corpos que descrevem movimentos curvilíneos. P_2

P_1

VELOCIDADE ANGULAR $\Delta\theta / \Delta t$ R R v

Um objeto pode girar mais depressa que outro. O ponteiro

de segundos de um relógio gira mais rápido que o de minutos,

e este, mais rápido que o de horas. Para estudarmos o movimento circular, é necessário definir uma grandeza que

meça essa “rapidez” de giro, que é a velocidade angular.

Antes de defini-la, devemos relembrar o conceito de A figura anterior mostra uma partícula, em movimento

medidas de ângulo, tanto em graus quanto em radianos. circular, passando por uma posição P , em um instante t , ¹¹

Um grau (e por uma posição P , em um instante t . Nesse intervalo Δt) é definido como $1/360$ do ângulo total de 2π de tempo, Δt , o ângulo central variou de $\Delta\theta$. Definimos a uma circunferência. Um radiano (rad) é a

medida da **velocidade angular** (ω) como a razão entre $\Delta\theta$ e Δt : ângulo central de uma circunferência que determina



um arco de comprimento l , igual ao raio R da mesma $\theta = 1$ radiano. A figura a seguir mostra, na primeira imagem, Δt um ângulo de 1 radiano. Na segunda imagem, temos um

ângulo genérico θ . A relação entre esse ângulo, o comprimento A razão entre o comprimento da trajetória percorrida pela

do arco e o raio da circunferência também é apresentada. partícula, para mover-se da posição P até a posição P_2

e o intervalo de tempo Δt determinam o valor da velocidade

= $R \omega$ linear v ($v = \Delta s / \Delta t$), também denominada velocidade

1 rad θ relação entre as velocidades angular e linear de um corpo, escalar ou tangencial. Intuitivamente, sabemos que há uma

pois, quanto maior for a velocidade angular de um corpo,

R

maior será o ângulo percorrido por ele em certo tempo e maior

será, também, o comprimento da trajetória percorrida por ele

durante esse tempo. Na verdade, como esse comprimento é

$\theta = L$ proporcional ao ângulo, temos que a velocidade linear de um (θ em radianos) corpo é diretamente proporcional à velocidade angular deste. R

A relação entre as velocidades angular e linear de um corpo,

Se você amarrar um barbante a uma pedra e marcar dois em movimento circular, pode ser expressa por:

pontos nesse barbante (o ponto A, mais externo, e o ponto B,



mais interno), ao colocar a pedra para girar, notará algo $v = \omega R$

Frente A Módulo 05

MOVIMENTO CIRCULAR Por definição, 1 hertz representa uma volta ou revolução por segundo. O hertz é a unidade de frequência utilizada pelo

UNIFORME Sistema Internacional de Unidades.

De acordo com as definições de período e de frequência

Se uma partícula executa um movimento cuja trajetória apresentadas, no MCU, uma volta completada está para

é uma circunferência e cujo módulo da velocidade linear é um intervalo de tempo igual a T , assim como f voltas

constante, dizemos que essa partícula executa um movimento completadas estão para um intervalo de tempo unitário

circular uniforme (MCU). Isso ocorre, por exemplo, com os (1 s, 1 min, 1 h, etc). Portanto, podemos escrever a seguinte

ponteiros de um relógio ou com as engrenagens encontradas igualdade de razões e deduzir uma equação de recorrência

em diversos dispositivos. O movimento da Terra ao redor do Sol também pode ser considerado, com boa aproximação,

$$1 f 1$$

um movimento circular uniforme. $\Rightarrow T =$

$$T 1 f$$

Uma característica desse movimento é o fato de o vetor velocidade apresentar módulo constante, apesar de

de um corpo em MCU e a frequência desse movimento.

sua direção variar continuamente, como mostra a figura

Ao efetuar uma volta completa, o corpo descreve um ângulo

angular de 2π radianos em um intervalo de tempo T (período do ω seguinte. Também é constante o módulo da velocidade

. Outra característica do movimento circular é o

fato de ele ser cíclico, ou seja, depois de um determinado movimento). Logo, utilizando a definição de velocidade

intervalo de tempo, a partícula volta a ocupar a

mesma angular e a relação entre o período e a frequência, temos:

posição, sob as mesmas condições, e assim o movimento $2\pi \omega = \Rightarrow \omega = 2\pi f$ se repete. T

$|v| = |v| = |v| = |v| = |v|_{1234}$
Naturalmente, há também uma relação entre a velocidade

linear e a frequência. Lembrando que, durante um período T, v_2

uma partícula em movimento circular uniforme de raio R

percorre um perímetro igual a $2\pi R$ e usando a definição da

v velocidade linear, concluímos que o módulo dessa velocidade v_1

é dado por:

$$v_1 = 2\pi R = 2\pi R f T$$

Comparando essa equação com a equação da velocidade

angular, obtida anteriormente, obtemos a seguinte expressão

R v de recorrência entre

essas duas velocidades: ₃

$$v = \omega R$$

v 4 Há outra forma de deduzir essa relação, que consiste em

4 dividir os dois lados da equação $L = \theta R$, definida no início deste

No MCU, os módulos das velocidades angular e linear são texto, pelo intervalo de tempo Δt . Lembrando que $v = L/\Delta t$

constantes. Já a direção do vetor velocidade linear é variável. e que $\omega = \theta/\Delta t$, obtemos a relação desejada. Quando você

Duas grandezas complementares são muito importantes realizar cálculos com a relação $v = \omega R$, lembre-se de que o

para caracterizarmos o MCU; são elas: o **período** (T) e a ângulo usado na medida de ω deve estar em radianos. **frequência** (f). Período é o intervalo de tempo necessário

para que um corpo, em MCU, efetue uma volta completa **EXERCÍCIO RESOLVIDO** em torno de uma circunferência. Por exemplo, o período de

revolução da Terra ao redor do Sol é de 1 ano, o período

de um ponteiro de segundos é de 1 minuto, o período

da **01**. Uma roda de bicicleta de raio 0,30 m executa 20 voltas
broca de uma furadeira elétrica é da ordem de 0,01 s,
etc.

em
5,0
s.
Determin

Já a frequência está associada ao número de voltas

A) a frequência do movimento.

efetuadas pela partícula a cada unidade de tempo.

B)
o
período.

Por exemplo, se você amarrar um barbante a uma
pedra e

girá-los, de modo que eles efetuem um MCU,
obrigando C) a velocidade angular da roda. a pedra a efetuar
50 voltas em 10 s, a frequência desse D) a velocidade linear
de um ponto situado na

movimento será de 5 voltas/segundo ou 5 hertz (5
Hz). extremidade da roda.

4 Coleção Estudo

Movimento circular

Resolução:

A) A frequência do movimento pode ser calculada v_2 a v_{-1} a dividindo-se o número de voltas efetuadas pelo Δv a intervalo de tempo gasto: c

$$f = 20 \text{ voltas} / 5,0 \text{ segundos}$$

$$\Rightarrow f = 4,0 \text{ voltas/segundo} = 4,0 \text{ hertz} = 4,0 \text{ Hz}$$

Observe que o vetor a tem a mesma direção e o mesmo

sentido do vetor Δv e pode ser decomposto em suas

B) O valor do período pode ser calculado utilizando a componentes ortogonais, aceleração tangencial (a_t) e

equação $T = 1 / \text{aceleração centrípeta} (a_c)$.
 Sabemos que: $1 / T = v_c / r$. Dessa forma,
 temos: $\frac{1}{T} = \frac{v_c}{r} = \frac{a_t}{r}$ $\Rightarrow T = \frac{r}{a_t}$

O vetor aceleração total está associado ao vetor força

C) A velocidade angular da roda pode ser calculada resultante, conforme veremos em outro momento dos

utilizando a relação: nossos estudos. Por ora, vamos apenas associar o vetor a_t

ω à mudança no módulo do vetor velocidade, e o vetor a_c , $= 2 \pi f = 2 \pi \cdot 4$

à mudança de direção do vetor velocidade. Veja o quadro

$\omega = 8\pi \text{ rad/s} = 1440^\circ/\text{s}$ a seguir, que associa o tipo de movimento às acelerações

que
nele

atuam.

D) A velocidade linear de um ponto da extremidade da

roda pode ser determinada a partir da relação $v = \omega R$. **Tipo de movimento** a a_t a_c Dessa forma, temos: Retilíneo uniforme – – –

$v = \omega R = 8\pi \cdot 0,30$ Circular uniforme X – X

$v = 2,4\pi$ m/s $\approx 7,5$ m/s Retilíneo uniformemente variado X X –

Circular uniformemente variado X X X

ACELERAÇÃO VETORIAL: 1.

Características do vetor a : **FÍSICA**



TANGENCIAL E CENTRÍPETA v_2

Módulo: $a = \frac{v^2}{R}$ (em que v é a velocidade linear e R O vetor aceleração a apresenta valor não nulo sempre R é o raio de curvatura da trajetória); que a velocidade varia, pois, como foi discutido nos módulos

anteriores, o conceito de aceleração está associado à **mudança Direção**: perpendicular à velocidade; **de velocidade**. Devemos agora ampliar o significado do

Sentido: para dentro da curva.

trecho em negrito para **mudança no vetor velocidade**,

pois sabe-se que a velocidade é uma grandeza vetorial,

2. Características do vetor $\mathbf{a}$:

podendo sofrer mudanças de módulo, direção ou sentido. **Módulo:** Δv (em que

Δv é a variação do módulo da

$v_2 \Delta t$

velocidade linear e Δt é o intervalo de tempo em que ocorre essa variação);

v_1

Direção: tangente à trajetória;

Sentido: no sentido do movimento, se a velocidade linear for crescente em módulo; e em sentido oposto

a $\Delta v = v_2 - v_1$ ao movimento, se essa velocidade for decrescente em módulo. $\Delta t = t_2 - t_1$

Para visualizar as direções e os sentidos dos vetores

A figura anterior representa o vetor velocidade $\mathbf{v}$ de velocidade e aceleração, veja as figuras a seguir, que ilustram

uma partícula em dois instantes diferentes, nos quais os casos listados na tabela anterior. tanto o módulo quanto a direção do vetor velocidade

sofrem alterações. Para determinarmos o vetor

aceleração **1º caso:** movimento retilíneo uniforme (MRU)

média, entre os instantes t_1 e t_2 , devemos determinar o $a = 0$; $a = 0$; $a = 0$ t_c vetor variação da velocidade Δv , que é obtido por meio

da subtração entre os vetores $v_2 - v_1$ e, então, tomarmos a razão entre o vetor Δv e o intervalo de tempo Δt . Veja a ilustração que se segue:

Editora Bernoulli 5

Frente A Módulo 05

2º caso: movimento retilíneo acelerado (MRA)

EXERCÍCIO RESOLVIDO

$$a_t \neq 0; a = 0; a \neq 0$$

02. A figura a seguir mostra o trajeto do circuito de um autódromo. Nele, estão assinaladas seis posições,

representadas pelos números de 1 a 6.

Considere um carro de corrida movendo-se no sentido

$1 \rightarrow 2 \rightarrow \dots 6$. As características do movimento do carro

a em cada uma das posições assinaladas no circuito são

representadas no quadro seguinte

3º caso: movimento retilíneo retardado (MRR)

Posição Trajetória Módulo da velocidade

$a = 0; v \neq 0; a_c \neq 0$ 1 Retilínea Decrescente Curvilínea Constante

$v \neq 0; a = 0; a_c = 0$ 2 Retilínea Crescente 3 4

4 Curvilínea Crescente 5 Retilínea Crescente

6 Curvilínea Decrescente

$a_t \neq 0$

4º caso: movimento circular uniforme (MCU)

$a_t = 0; a_c \neq 0; a \neq a_c \perp v$ 1 2 6

v^2

$v \neq 0; a = 0; a_c = 0$ 3

1

Para cada uma das posições assinaladas, representar os

a_c centrípeta a_c do carro. Justificar as representações. v vetores velocidade v , aceleração tangencial a_t e aceleração

$a \neq 0$

c Resolução:

a_c No quadro a seguir, representamos os vetores v , a_t e a_c em cada uma das posições do circuito e justificamos as respectivas representações.

5º caso: movimento circular com velocidade crescente em

O vetor velocidade v é sempre tangente à trajetória módulo, ou simplesmente movimento circular acelerado (MCA) e possui o mesmo sentido do movimento, como

$a_t \neq 0$; representado nas figuras a seguir. $a_t \neq 0$; $a_c \neq 0$

a_t Trecho Justificativa

Não há aceleração centrípeta

a_t pois o trecho é retilíneo. Como o a_t a v_c a 1_t v módulo da velocidade diminui, há 1_a a_c v_2 a atuando sobre o carro nessa posição, t

v_3 uma aceleração tangencial atuando

sobre o carro em sentido oposto ao

a do vetor velocidade. c

Não há aceleração tangencial

atuando sobre o carro nessa

6º caso: movimento circular com velocidade decrescente em posição, pois o módulo da velocidade

módulo, ou simplesmente movimento circular retardado (MCR) permanece constante. Como o carro V está efetuando uma curva, há uma $a_c \neq 0$; $a_c \neq 0$; $a \neq 0$ aceleração centrípeta atuando sobre 2 ele, cuja direção é perpendicular ao

vetor velocidade e cujo sentido é

v para dentro da curva. 1 a_t

v_2 Nessa posição, não há aceleração

a centrípeta atuando sobre o carro, t

a a 3 pois o trecho é retilíneo. Como o t a_t

c a módulo da velocidade aumenta, há

c V uma aceleração tangencial atuando

v_3 sobre o carro no mesmo sentido do

a vetor velocidade. c

6 Coleção Estudo

Movimento circular

O módulo da velocidade do carro Podemos compreender o fato descrito utilizando o estudo

aumenta. Logo, há uma aceleração da composição de movimentos realizado no módulo anterior.

tangencial atuando sobre ele no Os pontos A e B estão sujeitos a dois tipos de movimento,

a mesmo sentido do vetor velocidade. um movimento de rotação, devido à rotação do eixo da roda,

c Como o carro está efetuando uma e um movimento de translação, devido ao movimento de 4 a curva, há também uma aceleração translação do carro. O movimento resultante dos pontos A_t centrípeta atuando sobre ele, cuja e B é a composição desses dois movimentos, como mostra direção é perpendicular ao vetor

V velocidade e cujo sentido é para a figura a seguir.
dentro da curva.

Não há aceleração centrípeta $v_0 A v_0 A 2v A_0$ atuando sobre o carro nessa posição,

v 5 pois o trecho é retilíneo. Como o módulo da velocidade aumenta, há $v v a_0 + 0 0 = 0_t$ uma aceleração tangencial atuando

sobre o carro no mesmo sentido do
vetor velocidade.

O módulo da velocidade do carro B $-v B B_0 v_0$

diminui. Logo, há uma aceleração Movimento dos Movimento
dos Movimento

a 6 carro em sentido oposto ao do devido à rotação devido à translação vetor velocidade. Como o carro t V tangencial atuando

sobre o pontos A e B pontos A e B resultante

a_c está efetuando uma curva, há Como não existe deslizamento entre o pneu e o solo, também uma aceleração centrípeta a velocidade do ponto B em relação ao solo é nula, pois, atuando sobre ele, cuja direção é nesse ponto, os vetores velocidade, devido aos movimentos perpendicular ao vetor velocidade e

cujo sentido é para dentro da curva. de rotação e translação, anulam-se mutuamente. Para o

ponto A, os efeitos dos vetores se somam e, por esse motivo,

o módulo da velocidade relativa desse ponto é duas vezes

MOVIMENTO DE CORPOS maior que o módulo da velocidade de translação do carro. Quando registramos esse movimento fotograficamente,

ROLANTES os pontos de menor velocidade (próximos ao ponto B) aparecem nítidos, enquanto que os pontos de maior **FÍSICA** velocidade (próximos ao ponto A) aparecem borrados.

É um fato conhecido que quando um pneu rola sobre o

solo, sem deslizar sobre este, os pontos do pneu que tocam o **Movimento de um corpo rígido** solo estão em repouso em relação a este. Esse estranho fato

pode ser comprovado por meio de uma fotografia do pneu de

Em muitas situações, temos de analisar o movimento um carro em movimento, na qual vemos nitidamente que as

circular de um corpo rígido girando, como uma roda gigante,

letras que aparecem no pneu estão bem nítidas na parte de ou um carrossel de um parque de diversões. Nesses casos,

baixo do pneu (próximo ao solo), indicando baixa velocidade todos os pontos do corpo, apesar de estarem a diferentes

dos pontos do pneu próximo ao solo, enquanto que a parte de distâncias do centro, giram solidariamente, efetuando um

cima do pneu aparece com as letras “borradas”, indicando que a giro completo no mesmo intervalo de tempo, ou seja, todos

velocidade dos pontos do pneu na parte de cima deste é grande. os pontos do corpo possuem a mesma velocidade angular.

Um bom exemplo dessa situação é a Terra. Considere

a figura

a seguir, que mostra duas pessoas, A e B, sobre a superfície



da Terra, uma sobre a Linha do Equador e outra sobre a Linha

do Trópico de Capricórnio. Vejamos como se relacionam o

período (T), a velocidade angular (ω), a velocidade linear (v), a aceleração centrípeta (a_c) e a aceleração tangencial (a_t) que atuam sobre as pessoas A e B no movimento de rotação

da
Terra.

Suponhamos que o carro tenha uma velocidade v em relação ao solo e marquemos dois pontos, A e B, na parte B superior e inferior do pneu, respectivamente.

Editora Bernoulli 7

Frente A Módulo 05

- período T: as duas pessoas encontram-se sobre a superfície da Terra e esta completa uma volta em torno

A

de seu próprio eixo a cada 24 h.
Consequentemente,

todas as pessoas que se encontram sobre a Terra v_A completarão uma volta em torno do eixo desta nesse

mesmo intervalo de tempo. Logo, as pessoas A e B R_A possuem o mesmo período de movimento.

- velocidade angular (ω): a velocidade angular é uma

grandeza que mede a rapidez de giro de um objeto, R_B definida matematicamente como o ritmo no qual o ângulo central da posição do objeto varia. Como as



duas pessoas descrevem o mesmo ângulo no mesmo Δt intervalo de tempo, suas velocidades angulares serão $\omega_A = \omega_B$ iguais.



Dessa forma, temos:

- velocidade linear (v): a velocidade linear depende da

distância percorrida e do intervalo de tempo gasto $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ $R = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \Rightarrow \omega_A = \omega_B$



para percorrê-la. Como o raio da circunferência considerando a figura anterior, temos que $R_A > R_B$. Logo, $\omega_A < \omega_B$ descrita pela pessoa A é maior que o raio da ω_B , ou seja, o disco B gira mais rápido que o disco A. ω_B circunferência descrita pela pessoa B, e como as duas Consequentemente, a

frequência do disco A é menor pessoas descrevem as respectivas circunferências no que a frequência do disco B. Em outras palavras, como



mesmo intervalo de tempo, a velocidade linear de A $v/R = \omega = 2\pi f$, e lembrando que v é constante, concluímos será maior que a de B. que a velocidade angular ω e a frequência f são inversamente



- aceleração centrípeta (a_c): o módulo da aceleração a_c proporcionais ao raio. Assim, por exemplo, se na figura



centrípeta de um corpo em movimento circular é dado anterior R for igual a $2R$, então, f será igual a $f/2$. No caso $A B A B$



por $a_c = v^2/R = \omega^2 R$. Como as duas pessoas estão entre os dentes, o raciocínio é o mesmo. Como última de engrenagens, em que o acoplamento se dá por encaixe sujeitas à mesma velocidade angular, o módulo da nota sobre esse tipo de transmissões de movimentos, aceleração centrípeta que atua sobre as pessoas será é importante perceber que os dois discos (ou engrenagens)



diretamente proporcional ao raio de suas respectivas giram em sentidos opostos, como pode ser observado na

trajetórias. Logo, a aceleração centrípeta que atua figura anterior. sobre a pessoa A é maior do que a que atua sobre a

pessoa B. Transmissão por correia

- aceleração tangencial (a_t): o módulo da aceleração a_t

tangencial que atua sobre um corpo está associado à Quando a transmissão de movimento circular de um disco

mudança no módulo do vetor velocidade desse mesmo a outro se dá por meio do uso de correias, os dois discos,

corpo. Como as duas pessoas estão descrevendo um assim como no caso de transmissão por contato, apresentam

MCU, o módulo da velocidade linear delas permanece a mesma velocidade linear. A condição para isso ocorrer é a

constante. Consequentemente, a aceleração de que não haja deslizamento entre os discos e a correia.

tangencial que atua sobre as duas pessoas é nula.

V_A

V_C

TRANSMISSÃO DE VELOCIDADES

R_A

NO MOVIMENTO CIRCULAR R_B R_A R_B



É muito comum a transmissão do movimento circular de

um disco (ou de uma roldana, ou de uma polia) a

outro v_D

V_B



objeto, por meio do contato direto entre eles ou por meio



do uso de correias ou de eixos. A seguir, discutiremos cada

um desses casos.

Transmissão por contato



Quando há transmissão de movimento circular de um disco a outro por meio do contato direto entre eles, os dois discos apresentam a mesma velocidade linear, desde que não haja deslizamento entre eles.

8 Coleção Estudo

Movimento circular

Naturalmente, como a velocidade escalar v é constante, **EXERCÍCIOS RESOLVIDOS**

a mesma proporção inversa entre f (ou ω) e R , que deduzimos na transmissão por contato, também é verificada **03**. As figuras a seguir mostram duas polias de raios R_1 na transmissão por correia. Por isso, quando pedalamos uma e R que apresentam movimento circular uniforme. ²

bicicleta, impondo uma frequência f na coroa (disco

A), As polias são conectadas uma a outra por dois tipos de A

aparece uma frequência f acoplamentos: por correia e por eixo.
maior para a catraca (disco B). B

Por exemplo, para $R_1 = 2R$, temos $f = 2f_{ABBA}$

Transmissão por eixo R_{R12}

Nesse tipo de acoplamento, todas as engrenagens 2
encontram-se presas a um único eixo que, ao girar, faz
com

que essas engrenagens girem com a mesma velocidade
3

angular. Consequentemente, as engrenagens
apresentarão, 4

também, a mesma frequência de rotação que o eixo.

R_{R12}

R_{RA}

B

Os pontos 1, 2, 3 e 4 são pontos pertencentes às
extremidades das polias. Sobre o valor da aceleração
centrípetas (a_c) desses pontos, é correto afirmar que

A) $a_1 < a_2$ e $a_3 < a_4$.

$$B) a < a_e a > a_{c1} c2 c3 c4.$$

$$C) a > a_e a > a_{c1} c2 c3 c4.$$

FÍSICA

$$D) a > a_e a < a_{c1} c2 c3 c4.$$

Resolução:

A

R₂ R₁

Sendo assim, temos que:

No acoplamento por correia, temos que $v = v_1 = v_2$

Observando a figura, podemos concluir que $R_A > R_B \Rightarrow \omega_A = \omega_B$. Como $a = v^2 / R$ e sendo $v = v$, temos que a aceleração centrípeta é inversamente proporcional ao raio da polia.

Essa equação mostra que a velocidade escalar v e o Logo, como $R_A > R_B$, temos que $a_A < a_B$

12

raio R do disco são grandezas diretamente proporcionais. 3

Por exemplo, na figura anterior, veja que A é um ponto na 4 periferia de uma roda dentada maior e que B é um ponto

na periferia de uma roda dentada menor. Então, $R_A > R_B$

Consequentemente, $v_A > v_B$. Podemos estender esse

raciocínio para um ponto na periferia do pneu. Quanto maior

for o raio do pneu em relação ao raio das rodas dentadas

centrais (catracas), maior será o aumento da velocidade. Na No acoplamento por eixo, temos que $\omega = \omega_A$

partir ^{3 4}

da figura, podemos concluir que $R_1 > R_2$. Sendo $v = \omega R$,

verdade, a velocidade escalar na periferia do pneu representa temos que $a = v_2^2/R = (\omega R)_2^2/R = \omega_2^2 R$. Como $\omega = \omega$, temos ^{c 3 4} a própria velocidade de translação da bicicleta. Por isso, para que a aceleração centrípeta será diretamente proporcional

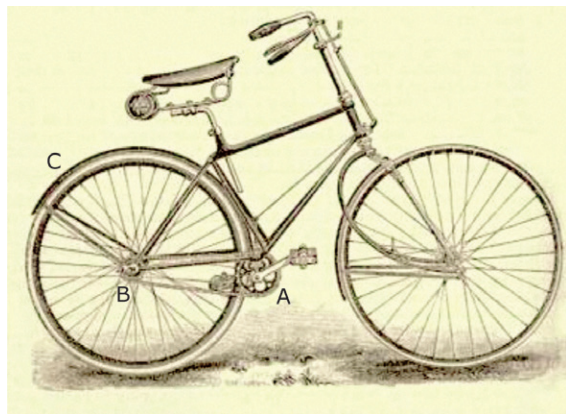
proporcionar maiores velocidades, os diâmetros dos pneus ao raio das polias. Logo, sendo $R > R$, temos que ^{1 2}

de bicicletas são, em geral, muito grandes. $a > a$. Dessa forma, a alternativa correta é a B. ^{c 3 c 4}

Editora Bernoulli 9

Frente A Módulo 05

04. Isso significa que a frequência do movimento descrito



pela roda C também será de 4 Hz. A relação $v = 2\pi Rf$ nos mostra que, sendo a frequência constante, $v \propto R$. Logo, como o ponto C está a uma distância dezesseis

vezes maior do eixo que o ponto B, sua velocidade linear será dezesseis vezes maior que a do ponto B, ou seja,

$$v = 3,2\pi \text{ m/s.}$$

O módulo da aceleração centrípeta a que estão submetidos os pontos A, B e C da coroa, da catraca e da roda da bicicleta, respectivamente, podem ser

A figura anterior mostra uma antiga bicicleta, na qual calculados por meio da relação:

estão marcados os pontos A, B e C. O ponto A encontra-se a $a = \omega^2 R$ ou $a = (2\pi f)^2 R = 4\pi^2 f^2 R$

na periferia da coroa, o ponto B, na periferia da catraca, Logo:

e o ponto C encontra-se na periferia da roda traseira. Sejam $a = 4\pi^2 \cdot 1,2 \cdot 0,10 = 0,4\pi^2 \text{ m/s}^2$ $f_A = 1 \text{ Hz}$ a frequência do movimento descrito pelo ponto A, $a = 4\pi^2 \cdot 4 \cdot 0,025 = 1,6\pi^2 \text{ m/s}^2$ e $R = 10 \text{ cm}$, $R = 2,5 \text{ cm}$ e $R = 40 \text{ cm}$ os raios das $c_B A B C$ $a_c = 4\pi^2 \cdot 4 \cdot 0,4 = 25,6\pi^2 \text{ m/s}^2$ circunferências descritas pelos respectivos pontos. c

A) Determinar qual dos três pontos, A, B ou C, está Desse modo, o ponto C está sujeito a maior aceleração

sujeito a maior aceleração centrípeta. centrípeta.

B) Determinar o módulo da velocidade de translação da B) Como o ponto C está na periferia da roda traseira e

bicicleta. esta está em contato com o solo, podemos afirmar

que o módulo da velocidade de translação da

Resolução: bicicleta é igual ao módulo da velocidade do ponto C.

A) Inicialmente, vamos isolar a coroa e a catraca, onde Sendo assim, o módulo da velocidade de translação v da bicicleta é de $3,2 \text{ m/s}$. se encontram os pontos A e B.

A EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

R R 21 **01.** (UECE) A figura mostra um disco que gira em torno do centro O. A velocidade do ponto X é 50 cm/s e a do ponto Y é de 10 cm/s.

A frequência do movimento descrito pelo ponto A é de 1 Hz, e o raio da circunferência descrita por ele Y X é de 10 cm, isto é, 0,1 m. Logo, o módulo de sua O velocidade linear é $v = 2\pi Rf = 2\pi \cdot 0,1 \cdot 1 = 0,2\pi$ m/s. A 10 cm/s Como a coroa e a catraca encontram-se interligadas por uma corrente e esta passa pela periferia das 50 cm/s mesmas, podemos concluir que todos os pontos das A distância XY vale 20 cm. Pode-se afirmar que o valor da periferias da coroa e da catraca possuem a mesma velocidade angular do disco, em radianos por segundo, é velocidade escalar, $0,2\pi$ m/s.

A) 2,0. B) 5,0. C) 10,0. D) 20,0.

Como o valor de v é o mesmo para os pontos A e B, podemos

concluir que a frequência dos movimentos descritos **02.** (UFSJ-MG) Um corpo percorre a trajetória circular indicada

aos raios de suas trajetórias, isto é, $R_{AfA} = R_{BfB}$. acelerado. O ponto em que os seus vetores velocidade Como o raio da catraca é 4 vezes menor que o e aceleração estão indicados

CORRETAMENTE é o da por esses pontos será inversamente proporcional na figura a seguir, com movimento uniformemente

raio da coroa, a frequência do movimento descrito alternativa pelo ponto B será quatro vezes maior do que a do

(2)

movimento descrito pelo ponto A. Logo, $f_B = 4 \text{ Hz}$. v A catraca e a roda da bicicleta estão conectadas pelo a mesmo eixo, como mostra a figura seguinte. v

C (3) a (1)

B a

$$R(4) v$$

$$R_B a_C$$

A) 2. B) 4. C) 3. D) 1.

10 Coleção Estudo

Movimento circular

03. (UFU-MG–2006) Um relógio com mecanismo defeituoso **03.**
(OBF / Adaptado) Um entregador de mercadorias de um

atrasa 10 minutos a cada hora. A velocidade angular armazém
utiliza um tipo especial de bicicletas em que a

média do ponteiro maior desse relógio, quando calculada roda da
frente tem um diâmetro duas vezes menor que

com o uso de um relógio sem defeitos, vale, em rad/s,

o diâmetro da roda traseira para que, na frente, possam

A) $\pi/2$ 160. C) $\pi/3$ 600. ser colocadas mercadorias em um local
adequado.

B) $\pi/2$ 100. D) $\pi/1$ 500. Quando esse veículo está em movimento,
pode-se afirmar

04. (PUC Minas) Um móvel parte do repouso, de um ponto A) o
período de rotação do pneu menor é a metade do **CORRETAMENTE**
que

sobre uma circunferência de raio R , e efetua um movimento

circular uniforme de período igual a 8 s. Após 18 s de período de rotação do pneu maior.

movimento, o seu vetor deslocamento tem módulo igual a B) o pneu menor tem frequência de rotação quatro vezes

A) 0. maior que a do maior. D) $2R/3$.

B) C) o pneu menor tem a mesma frequência de rotação R . E) R^2 .

C) $2R$. que a do pneu maior.

D) as velocidades angulares de rotação dos pneus são

05. (VUNESP) Duas polias, A e B, de raios R e R' , com $R < R'$, iguais.

podem girar em torno de dois eixos fixos e distintos,

interligadas por uma correia. As duas polias estão girando **04.** (PUC Rio) O centro de um furacão se desloca com uma

e a correia não escorrega sobre elas. Então, pode-se velocidade de 150 km/h na direção norte-sul, seguindo

afirmar que a(s) velocidade(s)

para o norte. A massa gasosa desse furacão realiza uma

A) angular de A é menor que a de B, porque a velocidade rotação ao redor de seu centro no sentido horário, com

tangencial de B é maior que a de A.

raio $R = 100$ km. Determine a velocidade de rotação

B) angular de A é maior que a de B, porque a velocidade da massa gasosa do furacão em rad/h, sabendo que a

tangencial de B é menor que a de A.

velocidade do vento medida por repórteres em repouso,

C) tangenciais de A e de B são iguais, porém a velocidade nas extremidades leste e oeste do furacão, é de 100 km/h angular de A é menor que a velocidade angular e 200 km/h, respectivamente. de B.

D) angulares de A e de B são iguais, porém a velocidade A) 0,1 D) 1,5

FÍSICA tangencial de A é maior que a velocidade tangencial B) 0,5 E) 2,0

de B.

C)
1,0

E) angular de A é maior que a velocidade angular de B,

porém ambas têm a mesma velocidade tangencial.

05. (UFU-MG–2007) Três rodas de raios R_a , R_b e R_c possuem

a b c

velocidades angulares ω_a , ω_b e ω_c , respectivamente,

EXERCÍCIOS PROPOSTOS e estão ligadas entre si por meio de uma correia, como ilustra a figura adiante.

01. (PUC Rio–2007) Um menino passeia em um carrossel de

raio R . Sua mãe, do lado de fora do carrossel, observa o R_b garoto passar por ela a cada 20 s. Determine a velocidade

angular do carrossel em rad/s.

A) $\pi/4$ B) $\pi/2$ C) $\pi/10$ D) $3\pi/2$ E) 4π

02. (UNIFESP) Pai e filho passeiam de bicicleta e andam lado a lado com a mesma velocidade. Sabe-se que o diâmetro das rodas da bicicleta do pai é o dobro do diâmetro das rodas da bicicleta do filho. Pode-se afirmar que as rodas R_c da bicicleta do pai giram com

A) a metade da frequência e da velocidade angular com que giram as rodas da bicicleta do filho. Ao mesmo tempo que a roda de raio R realiza duas voltas, b

B) a mesma frequência e velocidade angular com que a roda de raio R realiza uma volta. Não há deslizamento c

giram as rodas da bicicleta do filho. entre as rodas e a correia. Sendo $R_c = 3R_a$, é **CORRETO**

C) o dobro da frequência e da velocidade angular com afirmar que

que giram as rodas da bicicleta do filho. A) $R_b = (4/3)R_a$ e $\omega_a = (4/3)\omega_c$.

D) a mesma frequência das rodas da bicicleta do filho, B) $R = (4/3)R$ e $\omega = 3\omega$. b a a c mas com metade da velocidade angular.

E) a mesma frequência das rodas da bicicleta do filho, C) $R \omega \omega_b = (3/2)R_a$ e $\omega_a = (4/3)\omega_c$.

mas com o dobro da velocidade angular. D) $R_b = (3/2)R_a$ e $\omega_a = 3\omega_c$.

06. (UFMG) Um ventilador acaba de ser desligado e está **09.** (FGV-SP-2010) Fazendo parte da tecnologia hospitalar,

parando vagarosamente, girando no sentido horário. o aparelho representado na figura é capaz de controlar

A direção e o sentido da aceleração da pá do ventilador a administração de medicamentos em um paciente.

no ponto P são

Anteparo

rígido

0,25

P

DOSE CERTA

A) D) Gotejador

6 cm

P P

Regulando-se o aparelho para girar com frequência de

B) E) 0,25 Hz, pequenos roletes das pontas da estrela, distantes

P 6 cm do centro desta, esmagam a mangueira flexível P contra um anteparo curto e rígido, fazendo com que o

líquido seja obrigado a se mover em direção ao gotejador.

Sob essas condições, a velocidade escalar média imposta

ao líquido em uma volta completa da estrela é, em m/s,

C)

Dado:

π

=

3,1

P -2 A) $2,5 \times 10$. D) $6,6 \times 10^{-2}$.

B) $4,2 \times 10^{-2}$. E) $9,3 \times 10^{-2}$.

C)

5,0

x

10^{-2}

2.

07. (UFMG) A figura mostra três engrenagens, E_1 , E_2 e E_3 , **10.**
(FUVEST-SP) Um disco tem seu centro fixo no ponto O

fixas pelos seus centros e de raios R_1 , R_2 e R_3 , do eixo fixo x da
figura e possui uma marca no ponto A

respectivamente. A relação entre os raios é $R_1 < R_2 < R_3$ de sua periferia. O
disco gira com velocidade angular ω constante em
relação ao eixo. Uma pequena esfera A engrenagem da esquerda (E_1)
gira no sentido horário, é lançada do ponto B do eixo em direção ao
centro com período T_1 do disco, no momento em que o ponto A
passa por B.

A esfera desloca-se sem atrito, passa pelo centro do disco,
e após 6 s atinge a periferia do disco exatamente na marca A,
no instante em que esta passa pelo ponto C do eixo x. Se
o tempo gasto pela esfera para percorrer o segmento BC
 E_1 é superior ao necessário para que o disco dê uma volta, E_3
mas é inferior ao tempo necessário para que o disco dê

E_2 duas voltas, o período de rotação do disco é de

Sendo T_2 e T_3 os períodos de E_2 e E_3 , respectivamente, pode-se afirmar que as engrenagens vão girar de tal maneira que x

A) $T_1 = T_2 = T_3$, com E_1 girando em sentido contrário a E_2 . 1 2 3 3 1

B) $T_1 = T_2 < T_3$, com E_1 girando em sentido contrário a E_2 . A) 2 s. B) 3 s. C) 4 s. D) 5 s. E) 6 s. 1 3 2 3 1

C) $T_1 = T_2 = T_3$, com E_3 girando no mesmo sentido que E_1 .

11. (UEPB) A bicicleta move-se a partir do movimento dos

D) $T_1 = T_3 < T_2$, com E_3 girando no mesmo sentido que E_1 . pedais, os quais fazem girar uma roda dentada chamada

08. coroa, por meio de uma corrente. Esta coroa está

(PUC Minas–2010) “Nada como um dia após o outro”. acoplada a outra roda dentada, chamada de catraca,

Certamente esse dito popular está relacionado de alguma a qual movimenta a roda traseira da bicicleta. Um ciclista,

forma à rotação da Terra em torno de seu próprio eixo, preparando sua bicicleta para um torneio, percebeu que

realizando uma volta completa a cada 24 horas. Pode-se a coroa tem um raio 5 vezes maior que o da catraca.

então dizer que cada hora corresponde a uma rotação de Por ser aluno de Física, ele raciocinou: “para que eu vença

A) 180° . o torneio, se faz necessário que eu pedale na minha

bicicleta à razão de 40 voltas por minuto, no mínimo”.

B) 360° .

A partir dessas informações, pode-se afirmar que a

C) 15° . frequência de rotação da roda da bicicleta, em rotação

D) 90° . por minuto (rpm), vale

12 Coleção Estudo

Movimento circular

04. A velocidade linear de um ponto localizado na periferia



de A é igual a de um ponto localizado na periferia

de
B.

08. As velocidades angulares das polias A e C são iguais.

16. A velocidade linear de A é igual à velocidade angular

de
C.

Soma
()

Coroa **15.** (UFRRJ-2006) Um disco gira sem atrito sobre uma mesa

Catraca Corrente horizontal, preso por um fio de 50 cm, como mostra a

figura. Ele completa 300 voltas em 1 minuto.

A) 160. C) 200. E) 170.

B) 180. 2 m D) 220.

12. v

(UFV-MG-2007) Um automóvel encontra-se em repouso 0,5 m

no interior de um estacionamento, a 20 m de um portão A

eletrônico inicialmente fechado. O motorista aciona, então, 1,4 m

o controle remoto do portão, que passa a girar em torno

de seu eixo fixo à velocidade constante de $\pi/40$ rad/s.

Simultaneamente, o veículo começa a mover-se

retilineamente em direção ao portão, com aceleração Usar $g = 10$ m/s² sempre que necessário.

constante. A aceleração que o motorista deve imprimir

A) **DETERMINE** o módulo da velocidade do disco.

ao veículo para que atinja a saída do estacionamento no

exato instante em que o portão acaba de descrever um B) Qual o tempo em que ele permanece na mesa após

ângulo de o rompimento do fio no ponto A? $\pi/2$ rad, abrindo-se totalmente, tem módulo de

Considere $\pi = 3$

A) 0,01 m/s². D) 0,80 m/s².

B) $0,10 \text{ m/s}^2$. E) $0,08 \text{ m/s}^2$.
SEÇÃO ENEM C) $1,00 \text{ m/s}^2$.

13. 01. (Enem–2006) Na preparação da madeira em uma indústria

FÍSICA (FEI-SP) Um dispositivo mecânico apresenta três polias de móveis, utiliza-se uma lixadeira constituída de quatro (1), (2) e (3) de raios $R_1 = 6 \text{ cm}$, $R_2 = 8 \text{ cm}$ e $R_3 = 2 \text{ cm}$, grupos de polias, como ilustra o esquema a seguir. respectivamente, pelas quais passa uma fita que se Em cada grupo, duas polias de tamanhos diferentes são movimentada, sem escorregamento, conforme indicado na interligadas por uma correia provida de lixa. Uma prancha figura. Se a polia (1) efetua 40 rpm , qual é, em segundos, de madeira é empurrada pelas polias, no sentido $A \rightarrow B$ o período do movimento da polia (3)? (como indicado no esquema), ao mesmo tempo em

(3) que um sistema é acionado para frear seu movimento,

R_1 de modo que a velocidade da prancha seja inferior à da (2) v_1

(1) lixa. O equipamento anteriormente descrito funciona com

Fita os grupos de polias girando da seguinte forma: R_2

1 2

A) $0,5$ C) $2,0$ E) $3,2$

B) $1,2$ D) $2,5$

14. (UEPG-PR–2007) Uma polia A é ligada a uma polia B

através de uma correia e esta é acoplada a uma polia C, A B

conforme mostra a figura a seguir. Sobre este evento,

assinale o que for **CORRETO**.

A) 1 e 2 no sentido horário; 3 e 4 no sentido anti-horário.

B) 1 e 3 no sentido horário; 2 e 4 no sentido anti-horário.

01. A velocidade angular de B é menor que a velocidade

C) 1 e 2 no sentido anti-horário; 3 e 4 no sentido horário.

angular de A.

D) 1 e 4 no sentido horário; 2 e 3 no sentido anti-horário.

02. As relações entre as velocidades angulares e lineares

ocorrem através do raio de cada polia. E) 1, 2, 3 e 4 no sentido anti-horário.

Editora Bernoulli 13

Frente A Módulo 05

Instrução: Leia o texto a seguir e responda às questões. **04.** (Enem-1998) Com relação ao funcionamento de uma

As bicicletas possuem uma corrente que liga uma coroa bicicleta de marchas, em que cada marcha é uma

dentada dianteira, movimentada pelos pedais, a uma coroa combinação de uma das coroas dianteiras com uma das

localizada no eixo da roda traseira, como mostra a figura.

coroas traseiras, são formuladas as seguintes afirmativas:



I. numa bicicleta que tenha duas coroas dianteiras e cinco traseiras, temos um total de dez marchas possíveis, em que cada marcha representa a associação de uma das coroas dianteiras com uma

das
traseiras.

O número de voltas dadas pela roda traseira a cada II. em alta velocidade, convém acionar a coroa dianteira

pedalada depende do tamanho relativo dessas coroas. de maior raio com a coroa traseira de maior raio

também.

02. (Enem–1998) Em que opção a seguir a roda traseira dá III. em uma subida íngreme, convém acionar a coroa

o maior número de voltas por pedalada? dianteira de menor raio e a coroa traseira de maior

A) raio.

Entre as afirmações anteriores, estão corretas

A)
I e
III,
apenas.

B) B) I, II e III.

C)
I e
II,
apenas.

D)
II,
apenas.

E)
III,
apenas.

C)

D) **GABARITO**

Fixação

01. A 04. E

E)

02. A 05. E

03.
A

03. Propostos (Enem–1998) Quando se dá uma pedalada na bicicleta

a seguir (isto é, quando a coroa acionada pelos pedais 01. C 09. E

dá uma volta completa), qual é a distância aproximada 02. A 10. C

percorrida pela bicicleta, sabendo-se que o comprimento

03. A 11. C

de um círculo de raio R é igual a $2\pi R$, em que $\pi = 3$?

04. B 12. B

05. D 13. A

06. D 14. Soma = 3

07. D 15. A) 15 m/s

08. C B) 0,047 s

Seção Enem

80 cm 10 cm 30 cm

01. C 03. C

A) 1,2 m C) 7,2 m E) 49,0 m

02. A 04. A

B) 2,4 m D) 14,4 m

14 Coleção Estudo FÍSICA MÓDULO FRENTE Leis de Newton 06 A

Filósofos como Aristóteles influenciaram fortemente o de massa igual a 0,1 kg quando este se encontra ao nível do

modo de pensar do Ocidente por muitos anos, utilizando-se mar e a 45° de latitude norte₁. A

descrição desses detalhes de uma arquitetura de mundo calcada em pressupostos é necessária, uma vez que a intensidade com que a Terra

que, hoje, para nós, são estranhos, mas que para o Mundo atrai um objeto qualquer depende do local onde esse objeto

Antigo eram perfeitamente coerentes. Hoje, interpretamos se encontra. o mundo de um modo fortemente influenciado pelas ideias

desenvolvidas por Isaac Newton (1642-1727). Os conceitos Objeto de por ele desenvolvidos e a sua maneira de abordar os 0,1 kg de massa fenômenos naturais influenciaram áreas como a Filosofia,

a Economia, a Literatura e foram, durante muito tempo, 1 N padrão para diversos ramos do conhecimento humano.



Como sempre acontece nas Ciências, a atual explicação Terra para a causa dos movimentos dos corpos também teve



de enfrentar muita disputa e discussão antes de ser Existem outras unidades de força além daquela adotada pelo



plenamente reconhecida. Sistema Internacional, o newton. O quilograma-força (kgf)

é uma unidade de força muito utilizada e equivale ao

Neste módulo, apresentaremos alguns dos conceitos

peso de um objeto de massa igual a 1 kg. Mais uma vez,

desenvolvidos por Newton e estudaremos as suas três leis

lembramos que esse valor está associado ao local no qual a

do movimento, conhecidas como Leis de Newton para o

experiência é feita. A relação anterior nos permite concluir

movimento dos corpos. A interpretação e a aplicação dessas

leis a fenômenos térmicos e elétricos mostraram-se muito

eficazes, criando o paradigma newtoniano, no qual o mundo Uma das maneiras de medir a intensidade de uma força é

é regido por leis mecânicas – leis simples, abrangentes e utilizar aparelhos conhecidos como dinamômetros (figura 1a).

corroboradas pela experimentação –, em que o conceito Basicamente, os dinamômetros são construídos com uma

de força tem uma função fundamental. Na interpretação mola, que é previamente calibrada, à qual associa-se uma

do mundo, de acordo com os conceitos desenvolvidos por escala de valores. Um dinamômetro bastante conhecido por

Newton, busca-se a explicação causal para os movimentos todos é a “balança” de banheiro (figura 1b). Ao subirmos

na plataforma de uma balança, pressionamos uma mola.

observados na natureza, a **dinâmica** do Universo.

A deformação desta está associada a uma determinada intensidade de força e, dessa forma, a balança registra

CONCEITO DE FORÇA

esse valor em sua escala. É desse modo que medimos nosso “peso”.

O conceito de força tem um papel central na mecânica



a)



b)

newtoniana, uma vez que a força é responsável por alterar

o estado dos objetos: fazê-los entrar em movimento quando

estão parados, fazê-los parar quando estão se movendo,

alterar a direção de objetos que estão em movimento,

deformar os objetos, etc. Denominamos de força o agente

capaz de realizar as transformações anteriormente citadas,

seja essa força realizada por nossos músculos ou pela ação

de poderosos ímãs, por exemplo.

A força é uma grandeza vetorial e, portanto, está sujeita *Figura 1: a) Imagem de um dinamômetro típico utilizado em*

a todas as propriedades já estudadas para os vetores. *laboratórios escolares. b) dinamômetro de banheiro, mais*

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de conhecido como *balança de banheiro*. força é o newton (N). Uma força de 1 newton (1 N) é,

aproximadamente, a força com que a Terra atrai um objeto *1. Um valor mais preciso dessa força de atração seria de 0,98 N.*

Editora Bernoulli 15

Frente A Módulo 06

A NATUREZA DAS FORÇAS Os

diagramas que representam as forças por meio de vetores são denominados diagrama de forças ou diagrama

Hoje, classificamos as forças naturais em 4 tipos: de corpo livre.

- força eletromagnética

Consideremos uma situação na qual um menino está em

- força gravitacional

um brinquedo de um parque de diversão. As forças que

- força nuclear forte atuam sobre o menino podem ser representadas por meio
- força nuclear fraca de diagramas que mostram apenas os elementos essenciais

Praticamente todas as forças com as quais estamos para a compreensão dos efeitos dessas forças sobre o

habitados a lidar são dos dois primeiros tipos. A força menino. Essa situação pode ser representada de forma

de atrito, a tração em cordas, a força muscular e a força simples, mas de modo que contenha todas as informações

de compressão são forças de natureza eletromagnética. relevantes (ponto de aplicação, direção, sentido e módulo)

Já a força peso tem, por sua vez, origem gravitacional. sobre as forças que atuam sobre o menino (peso, normal

Essas forças estão presentes em várias situações do nosso dia a e força de atrito).

de força. As outras duas naturezas de força mencionadas, Força normal Força de atrito dia, e, por isso, nosso estudo enfatizará esses dois tipos

nuclear forte e fraca, só se manifestam no mundo (140

N) (30 N) subatômico. Essas forças são responsáveis pela estabilidade que encontramos na matéria que compõe nosso mundo.



Alguns autores classificam as forças existentes na



natureza em forças de contato e forças de campo (ou de

ação à distância). Na primeira classe – forças de contato –,

existe um aparente contato entre as superfícies dos corpos

que interagem, como quando apertamos o botão de uma Força peso campainha ou quando seguramos uma faca. Forças como a (30 N)

tensão em uma corda, a força muscular e a força normal, *Figura 2: Situação real e o respectivo diagrama de forças que*

por exemplo, são classificadas como forças de contato. *a representa.*

As forças de campo (ou de ação à distância) são aquelas Para o estudo das Leis de Newton, dois conceitos são muito

que atuam em situações nas quais os corpos interagem importantes, o conceito de força resultante, F , e o conceito R uns com os outros sem a necessidade de

contato aparente, de equilíbrio de um corpo. como é o caso da força gravitacional, das forças entre ímãs

ou entre um ímã e um prego. Forças elétricas, magnéticas • FORÇA RESULTANTE

e gravitacionais são exemplos de forças classificadas como É o resultado da soma vetorial de todas as forças que

forças de campo (geradas pelo campo elétrico, pelo campo atuam sobre um determinado corpo. A aplicação matemática

magnético e pelo campo gravitacional, respectivamente). desse conceito será imprescindível para a resolução de uma

Utilizamos o termo “contato aparente” ao nos referirmos série de exercícios.

às forças de contato, pois sabe-se que as forças de repulsão • EQUILÍBRIO elétrica que atuam nesses casos, quando aproximamos muito

dois corpos, possuem módulos altíssimos, não permitindo No estudo da Dinâmica, definimos que uma **partícula**

que exista contato direto entre as moléculas dos dois corpos está em equilíbrio quando a resultante das forças que atuam

que interagem. sobre ela é zero, isto é, várias forças podem atuar sobre

a **partícula**, porém, a soma vetorial de todas essas forças

FORÇA RESULTANTE E O deve ser nula.

$$\text{EQUILÍBRIO} \Rightarrow F = 0_R$$

EQUILÍBRIO

Considere um pequeno carro de brinquedo no qual você **1ª LEI DE NEWTON**

dá um empurrão, primeiro com uma força de pequena intensidade e, posteriormente, com uma força mais intensa. *Todo objeto permanece em estado de repouso ou de*

O efeito das forças sobre o carrinho, nas duas situações *movimento uniforme em linha reta, a menos que seja obrigado*

descritas, será diferente; provavelmente, na primeira *a mudar aquele estado por forças que atuem sobre ele.*

situação, a distância percorrida por ele antes de parar foi

menor do que na segunda situação. Caso você empurre o A afirmativa anterior, portanto, se relaciona às situações

carrinho para frente e, posteriormente, para trás, o sentido de ausência de força ou de força resultante

nula atuando

de movimento do carrinho também será diferente em sobre um corpo. Nesses casos, o corpo deve permanecer em

cada uma das situações. Como os efeitos da força sobre o MRU, se ele estiver com velocidade diferente de zero, ou em

carrinho dependem da intensidade, da direção e do sentido repouso, se a sua velocidade for nula. Essa lei tem uma

da força, dizemos que a força é uma grandeza vetorial. importância crucial para as outras duas leis do movimento.

16 Coleção Estudo

Leis de Newton

Todo referencial no qual as condições descritas pela
Em situações desse tipo, fazemos uso de uma força fictícia

1ª Lei de Newton são obedecidas ($F = 0_R \Rightarrow$ MRU ou repouso) (não inercial) para explicar o porquê de sermos jogados para

é denominado **referencial inercial**. As outras duas leis fora da curva e a denominamos de força centrífuga. Mas,

do movimento, da maneira como serão descritas neste lembre-se, ela é apenas um artifício para explicar o que

módulo, somente são válidas para esse tipo de referencial. acontece conosco no referencial não inercial do carro e não

A rigor, não existem referenciais inerciais, e o que faremos obedece às outras Leis de Newton. Quem analisa a situação

são aproximações, muito boas, para que possamos utilizar do lado de fora do carro, utilizando a Terra como referencial,

certos corpos como referenciais inerciais. Newton utilizava não necessita desse artifício para analisar nosso movimento.

as estrelas, que acreditava que eram fixas, como sistemas

Como discutido anteriormente, se a força resultante que

de referenciais inerciais. A Terra pode ser considerada um

atua sobre um corpo é nula, esse corpo estará em repouso

referencial inercial para boa parte dos movimentos que

(equilíbrio estático) ou em movimento retilíneo uniforme

estudamos, basicamente aqueles que ocorrem sobre a sua

(equilíbrio dinâmico). Galileu utilizou um interessante superfície, mas, para outros tipos de movimentos, ela não

argumento para demonstrar essa última situação.
Imagine

pode ser utilizada como referencial inercial.

o seguinte movimento para uma esfera, solta de uma

A seguir, apresentamos dois fatos cotidianos que podem determinada altura, em uma calha com atrito desprezível

ser explicados considerando a Terra como um referencial (figura 3). inercial e aplicando a 1ª Lei de Newton.

Posição inicial Posição final

Exemplo 1: Quando estamos no interior de um ônibus

e o motorista é obrigado a frear bruscamente, é comum

falarmos que fomos “jogados para frente”. Mas, na verdade, Posição inicial Posição final estávamos indo para frente conjuntamente com o ônibus,

desenvolvendo certa velocidade de módulo v , e tendemos

a permanecer nesse estado de movimento, enquanto o

Posição inicial estado de movimento do ônibus foi alterado. Assim, após

Onde é a posição final?

a freagem, a velocidade final do ônibus terá módulo menor

do que v e, portanto, nos movimentamos para frente em

Figura 3: Experiência imaginada por Galileu para discutir o **FÍSICA**

relação ao ônibus. Para alterar nosso estado de movimento,

movimento retilíneo uniforme de uma esfera.

é necessário que uma força seja aplicada sobre nosso corpo.

Nesse caso, como desejamos permanecer em repouso em A figura 3 nos mostra uma esfera solta em um plano

relação ao ônibus, é necessário que uma força atue em inclinado, entrando em movimento devido à ação da força

nosso corpo em sentido oposto ao de nosso movimento, e, peso. Durante esse movimento, a esfera desce um plano

normalmente, essa força é aplicada pelo banco da frente inclinado, percorre uma trajetória horizontal e, então,

ou pelo corpo de outra pessoa que estava à nossa frente. sobe outro plano inclinado, até atingir uma altura igual à

altura inicial, pois o trilho não apresenta atrito. Se o trilho

Galileu denominou de **inércia** a propriedade de os corpos da direita for alongado, reduzindo sua inclinação, a esfera

tenderem a permanecer em seu estado de movimento. percorrerá uma distância maior, porém ainda continuará a

Devido a esse fato, a Primeira Lei de Newton também é atingir uma altura igual à do início do movimento. O que

conhecida como Lei da Inércia de Galileu. acontecerá, porém, se o trilho da direita for colocado na

Exemplo 2: Quando um carro no qual nos encontramos posição horizontal? Que tipo de movimento a esfera teria

realiza uma curva para a esquerda, temos a sensação de nesse trecho? Para Galileu, no trecho horizontal, o efeito das

que estamos sendo jogados para a direita por uma força forças que atuam sobre o corpo não mais seria sentido por

desconhecida. Na figura a seguir, que ilustra essa situação, este e, dessa forma, o corpo permaneceria se movendo em

é fácil perceber que nosso corpo tende a continuar em linha reta e com velocidade constante. linha reta e o carro é que está virando. Nesse exemplo,

o carro **não** é um referencial inercial, pois nosso corpo, **2ª LEI DE NEWTON** em relação ao carro, não permaneceu em repouso, mesmo estando sujeito a uma força resultante nula.

A toda força resultante que atua sobre um corpo

Direção de movimento do passageiro corresponde
uma aceleração de mesma direção, mesmo
sentido e de módulo proporcional a essa força.

Com base em experimentos, Newton pôde obter a seguinte

relação entre a força resultante e a aceleração:

$$F = ma \text{ (2ª Lei de Newton para o movimento) }_R$$

Essa relação nos permite concluir que: Tome bastante cuidado com isso, pois muitos

estudantes desatentos tendem a pensar que a força

A) O módulo da aceleração adquirida por um corpo

resultante determina o sentido da velocidade de

é diretamente proporcional ao módulo da força

um corpo em um movimento. Por exemplo, quando

resultante. Isso significa que o gráfico da aceleração

lançamos uma pedra verticalmente para cima,

em função da força resultante, sobre uma dada

o vetor velocidade, inicialmente, possui sentido para

massa, é uma reta que passa pela origem, conforme

cima. Porém, a força resultante aponta para baixo,

mostra a figura seguinte.

e, conseqüentemente, a aceleração será também

a Aceleração voltada para baixo.

FR

2ª 3ª LEI DE NEWTON

3 Para toda força de ação que um corpo A exerce sobre um a

corpo B, há uma força de reação de mesma intensidade,

3F_R Força resultante

mesma direção e sentido oposto que o corpo B aplica em A.

B) O módulo da aceleração adquirida por um corpo é

inversamente proporcional à sua massa, caso a força A 3ª Lei de Newton para o movimento também é conhecida

aplicada seja constante. Isso significa que, para uma como Lei da Ação e Reação. Podemos perceber que as forças

dada força, o gráfico da aceleração em função da massa sempre se manifestam aos pares. Assim, o número total

é uma hipérbole, conforme mostra a figura a seguir. de forças presentes no Universo seria par. Por isso, muitos

a autores preferem utilizar a palavra interação, em vez de

M Aceleração F força, como interação elétrica e interação gravitacional,

R

M em vez de força elétrica e força gravitacional. A

M interação já traz em seu significado a necessidade da
a/2

F_R

presença de dois corpos. Observe a figura a seguir, que

M

M a/3 mostra a interação gravitacional
entre os corpos A e B.

M

F_R Massa Corpo A Corpo B

Esse gráfico mostra que, ao se aplicar uma força
de

mesmo módulo a dois corpos diferentes, a
variação $F F_{BAAB}$ de velocidade dos corpos não é,
necessariamente,

a mesma. A inércia, propriedade que mede a Os
corpos que interagem entre si podem ser a Terra
e

dificuldade em variar a velocidade de um objeto,
você, uma bola de futebol e o rosto de um
jogador (figura

é uma característica intrínseca, própria do corpo.
a seguir), você e o chão, um prego e um ímã,
dois ímãs que

Não importa onde essa experiência seja feita, o se
atraem ou se repelem, etc. quociente entre o

módulo da força resultante (F_R) e o módulo da aceleração (a) que atuam sobre um

corpo será sempre o mesmo, a massa (m) desse corpo. Por isso, dizemos que a massa é uma medida

da inércia do corpo.

C) A partir da expressão $F = ma$, podemos definir a R

unidade de força. Uma força resultante de 1 N é a

força que, quando aplicada sobre um corpo de massa

1 kg, faz com que este adquira uma aceleração de 1 m/s^2 . Assim, temos que $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ N}$$

$1 \text{ kg} \cdot a = 1 \text{ m/s}^2$ Um aspecto essencial dessa lei é o fato de as forças serem

aplicadas em corpos diferentes. Por isso, essas forças não se

D) Observe que a equação da 2ª Lei de Newton é

anulam, apesar de elas terem sentidos opostos e de terem

uma equação vetorial, pois a força e a aceleração

as mesmas intensidades. Em muitos problemas, duas forças

são grandezas de natureza vetorial. Como a

massa é uma grandeza escalar sempre positiva, opostas e de mesma intensidade podem agir em um corpo,

concluimos que a aceleração possui sempre a mesma de forma que a resultante entre elas seja nula. Nesse caso,

direção e o mesmo sentido da força resultante. essas forças, é claro, não formam um par de ação e reação.

18 Coleção Estudo



■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

Leis de Newton

O fato de as forças serem de igual intensidade não significa

que o “efeito” dessas forças será o mesmo nos dois corpos.

Entra em questão, nesse momento, a 2ª Lei de Newton.

Como os corpos podem possuir massas diferentes, os efeitos 5,0 kg dinâmicos dessas forças, de mesmo módulo, também podem

ser diferentes.

Por exemplo, se um elétron e um próton forem abandonados

um diante do outro, as forças de atração elétrica que um

exerce sobre o outro possuem o mesmo módulo. Porém,

sendo muito mais leve que o próton, o elétron estará

sob a 0,5 kg ação de uma aceleração, em direção ao próton, muito mais *Figura 4: Uma bola de boliche possui maior inércia que uma*

intensa que a aceleração do próton em direção ao elétron. *bola de futebol, pois possui maior massa.* O resultado é que as partículas colidirão em uma posição

bem próxima à posição inicial do próton. A unidade de massa, no Sistema Internacional (SI),

A figura a seguir representa uma pessoa sobre um skate, é o quilograma (kg). Para comparar massas desconhecidas

empurrando uma parede. A mão da pessoa empurra a parede com massas de objetos padrões, utilizamos balanças

na direção horizontal e para a direita. Simultaneamente, de braço. Não importa em qual planeta nos encontremos,

a parede empurra a mão da pessoa, também na direção uma balança de braços iguais sempre registrará o mesmo

horizontal, porém no sentido oposto, para a esquerda. valor de massa durante as medidas. Os módulos dessas forças, denominadas par de ação e

reação, são iguais. Essas forças atuarão sobre a mão da pessoa e sobre a parede enquanto houver contato entre

a mão e a parede; assim que o contato deixar de existir,

as forças cessam. Fulcro

Força exercida pela parede Força exercida pela pessoa
sobre a mão da pessoa sobre a parede

O peso é uma grandeza vetorial, associada à força de
FÍSICA
atração gravitacional que um planeta exerce sobre um
corpo. Essa força é o resultado da interação entre um
objeto
de massa m e o campo gravitacional g do planeta onde
esse objeto se encontra. O valor do campo
gravitacional
na superfície da Terra é muito próximo de 10 N/kg , o
que
significa que um objeto de massa 1 kg , colocado na
superfície
da Terra, será puxado em direção ao centro desta por
uma
força de módulo igual a 10 N . Na Lua, o valor do
campo

MASSA E PESO gravitacional é $1,6 \text{ N/kg}$; isso
significa que objetos de 1 kg de massa, na superfície

da Lua, serão atraídos por uma

Massa é uma grandeza escalar que mede o valor da inércia força de módulo igual a 1,6 N. Assim, podemos perceber

de um corpo. Não podemos associar a massa de um objeto que o valor da força de interação entre o objeto e o planeta

ao seu tamanho, mas podemos associá-la à dificuldade (força peso) pode ser determinado pela relação: que encontramos em alterar o estado de repouso ou de



movimento desse objeto.

$$P = mg$$

Imagine uma bola de boliche e outra de futebol.
Caso você

aplique uma força de mesma intensidade a cada uma das

bolas, perceberá logo qual delas possui maior massa. Nessa expressão, P representa o módulo da força peso,

A dificuldade encontrada para mover a bola de boliche é m representa o valor da massa do corpo, e g representa

muito maior do que para mover a bola de futebol, ou seja, o módulo do campo gravitacional do planeta. O fato de

a inércia da bola de boliche é muito maior do que a da bola

estarmos utilizando o símbolo g tanto para o campo de futebol. Portanto, podemos afirmar que a massa da bola

de boliche é muito maior do que a massa da bola de futebol. gravitacional quanto para o valor da aceleração da gravidade

Mesmo que as levássemos para o espaço, longe de qualquer é intencional. Eles são coincidentes.

planeta, e tentássemos empurrá-las, encontraríamos maior Veja a transformação de unidades a seguir: dificuldade em colocar a bola de boliche em movimento

(figura 4). Não importa o local em que estejamos, a bola de 2 N kg m s^{-2} / m boliche sempre possuirá maior inércia que a bola de futebol, $10 = 10 = 10 \text{ kg kg s}^{-2}$ pois a massa dela é maior que a massa da bola de futebol.

Editora Bernoulli 19

Frente A Módulo 06

Como qualquer outra força, a força peso também apresenta É muito comum os alunos confundirem a

relação entre a

uma reação. A figura seguinte mostra o local em que se força normal e a força peso. A rigor, não existe relação entre

manifesta a reação à força peso, resultado da interação elas, pois essas forças têm natureza independente, ou seja,

entre a Terra e o objeto. A rigor, todas as porções da Terra a existência de uma independe da outra. A figura a seguir

atraem e são atraídas por qualquer objeto colocado em sua mostra os pares de ação e reação associados às forças que

superfície, as porções mais próximas com maior intensidade atuam sobre um livro posto em uma mesa horizontal, que

e as mais distantes com menor intensidade. Newton mostrou está sobre a superfície da Terra (a figura não está em escala).

que todas essas forças, que atuam em diversas porções da Observe que sobre o livro atuam duas forças: a força peso (P)

Terra isoladamente, podem ser representadas por um único e a força normal (N), exercida pela mesa sobre o livro.

vetor que atua no centro da Terra, como representado na N figura a seguir.

P P N e -N

-N P e -P

-P

-P Terra

FORÇA NORMAL Como o livro encontra-se em repouso, a resultante das

forças que atuam sobre ele é zero. Logo, os módulos das

Em quase todos os momentos de nossa vida, estamos forças peso e normal são iguais. No entanto, isso não significa

apoiados em alguma superfície. São raras as ocasiões em que as forças peso e normal sejam um par de ação e reação.

que não estamos pressionando uma superfície, por exemplo, Afinal, a reação à força peso encontra-se aplicada no

quando saltamos de paraquedas ou de *bungee jump*. centro da Terra (- P) e a reação à força normal é a força de Ao interagirmos com uma superfície sobre a qual nos compressão que o livro exerce sobre a mesa, (-N). apoiamos, exercemos sobre ela uma força de compressão (N'). De acordo com a 3ª Lei de Newton,

a superfície também. A rigor, quando subimos em uma “balança” de banheiro,

exerce uma força sobre nosso corpo. Essa força, chamada de ela não registra o módulo de nossa força peso, mas sim

força normal (o módulo da força com que comprimimos a superfície da N), possui o mesmo módulo e a mesma direção

que a força de compressão, porém, apresenta sentido oposto à da balança. Usualmente, esses valores são coincidentes, mas

a esta, como mostrado na figura a seguir. Basta nos apoiarmos em uma superfície, como mostrado

na figura a seguir, para alterarmos os valores usualmente

N registrados pela balança. O primeiro homem, que está

empurrando a pia para baixo, sofre a ação de uma força para

cima exercida pela pia sobre suas mãos. Por exemplo, se ele

fizer uma força de 10 N sobre a pia, haverá uma redução do

mesmo valor na força de compressão dos seus pés sobre a

balança, que, nesse caso, registrará um valor 10 N inferior

ao peso real do homem. No outro caso, em que o
homem

empurra o teto para cima, a reação do teto sobre ele é
para

baixo. Se ele empurrar o teto para cima com uma
força

de 10 N, a força de compressão registrada pela
balança será

N' aumentada desse valor. Se você possuir uma
balança de

banheiro em casa, repita essas experiências para
certificar-se

Quando pressionamos verticalmente uma superfície

desses
resultados.

horizontal, essa superfície exerce sobre nós uma força
na

direção vertical, em sentido oposto ao da força que
exercemos

sobre a superfície. Da mesma forma, quando
pressionamos

horizontalmente uma parede, esta também exerce uma
força

horizontal sobre nossa mão. Essa força, exercida em
nossa

mão, também é denominada força normal.

N N'

2. O termo está entre aspas, pois, a rigor, não é uma balança, mas sim um dinamômetro. Optamos, aqui, por utilizar o termo

cotidiano.

20 Coleção Estudo

Leis de Newton

EXERCÍCIO RESOLVIDO

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. (UFJF-MG) Uma pessoa com uma bengala sobe na **02.** Um menino deve puxar, com aceleração constante de

plataforma de uma balança. A balança assinala 70 kg. $1,5 \text{ m/s}^2$, um conjunto de 2 blocos iguais, cada um

Se a pessoa pressiona a bengala contra a plataforma da com massa de 2 kg, conectados por fios de diferentes

balança, a leitura então resistências. Considere que os fios são ideais e que

A) indicará um valor maior que 70 kg. não há atrito entre a superfície horizontal e os blocos.

Discutir de que modo os fios devem ser conectados aos

B) indicará um valor menor que 70 kg. blocos para que a possibilidade de ruptura dos fios seja

C) indicará os mesmos 70 kg. a menor possível.

D) dependerá da força exercida sobre a bengala.

E) dependerá do ponto em que a bengala é apoiada A B
sobre a plataforma da balança.

Resolução: Resolução:

Inicialmente, vamos representar as forças que atuam nos
balança, a balança registra o “peso” total do conjunto dois blocos,
desenhando-os separadamente. Quando uma pessoa sobe com uma
bengala em uma

pessoa + bengala. A pessoa, ao pressionar a bengala
contra a superfície da balança, faz com que seus pés N_{AB}
pressionem menos a superfície desta, de modo que uma
ação é compensada pela outra. Sendo assim, o valor total A B
registrado pela balança permanece inalterado. Portanto, $T_1 - T_1 T_2$

a resposta correta é a C. P_{BA} Note que esse exercício é diferente da
discussão feita no

final da última seção, que ilustrou os efeitos de forças

Bloco A: Está em equilíbrio na direção vertical e
sobre objetos externos à balança.

acelerado para a direita na direção horizontal. Logo,
os módulos de N_A e P_A devem ser iguais e de valor 20 N

FORÇA DE TENSÃO OU TRAÇÃO (P

= $m \cdot g$). Como o bloco está acelerado para a direita, a_A

a força resultante também deve estar voltada para a **FÍSICA**

direita. Como temos apenas uma força atuando no bloco A

Podemos utilizar cordas para transmitir forças de um na direção horizontal, T_1 , essa é a força resultante que

ponto a outro do espaço. Uma corda ideal é aquela que é atua sobre o bloco A.

inextensível, que possui flexibilidade e que apresenta massa $F_{R(\text{BLOCO A})} = T_1$

desprezível em relação aos corpos aos quais está presa. $T_1 = m_A a_A = 2,1,5 = 3,0 \text{ N}$ Denominamos força de tensão, ou tração, a força que é Bloco B: Também está em equilíbrio na direção vertical transmitida de um ponto a outro de um sistema, utilizando e acelerado para a direita na direção horizontal. Há duas cordas, como mostrado na figura a seguir. forças atuando no bloco B na direção horizontal, $-T_1$

para a esquerda e T_2 para a direita. Como o bloco está

Força transmitida Força aplicada acelerado para a direita, a força resultante também deve

F_F estar voltada para a direita (2ª Lei de Newton). Logo:

$$F = T_2 + (-T_1)_{R(\text{BLOCO B})}$$

Observe a figura seguinte. Se os fios são ideais, isto é, Mas:

inextensíveis e de massa desprezível, temos que $|F| = |T|$
 $= |T_{R(\text{BLOCO B})}| = m_B a \Rightarrow m_B a = T_2 - T_1$ e $|T| = |T_3|$.

Sempre que as tensões atuarem sobre um $4 \Rightarrow T_2 = T_1 + m_B a = 3,0 + 2,0 \cdot 1,5$

mesmo fio, seus módulos serão iguais. $\Rightarrow T_2 = 6,0 \text{ N}$

Como $T_1 > T_2$, a corda mais resistente deve ficar entre o bloco B e a mão do menino, enquanto a menos resistente

deve unir os dois blocos.

O uso de cordas é particularmente interessante quando

desejamos mudar o ângulo no qual uma força pode ser feita, Comentário:

Já era esperado que o módulo da tensão no fio puxado como mostra a figura a seguir.

pela pessoa fosse o dobro do módulo da tensão no fio que puxa o bloco A. Uma vez que todas as partes do sistema



movem-se com a mesma aceleração, a força resultante que atua em certa parte do sistema é proporcional à massa dessa parte. Como a força exercida pela pessoa puxa duas massas iguais, e como a força que une os blocos puxa apenas uma dessas massas, a primeira força deve ser maior que a segunda, igual ao dobro da outra.

Editora Bernoulli 21

Frente A Módulo 06

A LEI DE HOOKE 02. (UFV-MG) Uma caminhonete sobe uma rampa inclinada com velocidade constante, levando um caixote em sua

carroceria, conforme ilustrado na figura a seguir.

Denominamos de objeto elástico os objetos que mudam

de forma ao aplicarmos uma força sobre eles e que voltam a

assumir sua forma original ao cessarmos a ação da força sobre

eles. Um exemplo de um corpo elástico é a mola. Sabe-se

que, quanto mais esticamos uma mola, maior deve ser a

força que devemos aplicar às suas extremidades.

Podemos Sabendo-se que P é o peso do caixote; N , a força normal

usar essa propriedade para medir a intensidade das forças. do piso da caminhonete sobre o caixote; e f , a força de a

Colocando uma mola na posição vertical e fixando sua atrito entre a superfície inferior do caixote e o piso da

extremidade superior, podemos pendurar corpos de pesos caminhonete, o diagrama de corpo livre que MELHOR

diversos em sua outra extremidade. Para certa faixa de representa as forças que atuam sobre o caixote é

força aplicada, isto é, $F \propto x$ ou: f_a forças aplicadas, o valor da deformação x é proporcional à A) N D) N



$$F_f = kx \text{ (Lei de Hooke)}_{a \text{ el } P P}$$

Em que k é a constante elástica da mola. Esse tipo de B) N E) N deformação é denominada deformação elástica. Utilizando f_a

a equação anterior e medindo a deformação da mola,

podemos calcular a intensidade da força aplicada sobre f_a P P ela, desde que a constante elástica da mola seja conhecida. C) N Se a força exercida sobre a mola for muito grande, pode acontecer de a mola perder suas propriedades elásticas

e não voltar à sua forma original. Nesse caso, dizemos que

a mola sofreu uma deformação plástica, e, para esse tipo f_a

de deformação, a Lei de Hooke não é mais válida.

03. (PUC Minas) Em cada situação descrita a seguir, há uma



força resultante agindo sobre o corpo, **EXCETO** em

- A) O corpo acelera numa trajetória retilínea.
- B) O corpo se move com o módulo da velocidade constante durante uma curva.
- C) O corpo se move com velocidade constante sobre uma reta.
- D) O corpo cai em queda livre.

04. (UFMG–2007) Um ímã e um bloco de ferro são mantidos fixos numa superfície horizontal, como mostrado na figura

a
seguir.

m 2m

Ímã Ferro

Em determinado instante, ambos são soltos e movimentam-se um em direção ao outro, devido à força

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO de atração magnética. Despreze qualquer tipo de atrito e considere que a

01. massa m do ímã é igual à metade da massa do bloco de (PUC Minas–2007) Quando um cavalo puxa uma

charrete, a força que possibilita o movimento do ferro.

cavalo é a força que Sejam a o módulo da aceleração e F o módulo da i

A) o solo exerce sobre o cavalo. resultante das forças sobre o ímã. Para o bloco de ferro,

B) ele exerce sobre a charrete. essas grandezas são, respectivamente, a e F .

C) a charrete exerce sobre ele. Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que

D) a charrete exerce sobre o solo. A) $F_i = F_f$ e $a_i = a_f$. C) $F_i = 2F_f$ e $a_i = 2a_f$.

3. Em homenagem a Robert Hooke (1635-1705), cientista inglês. B) $F_i = F_f$ e $a_i = 2a_f$. D) $F_i = 2F_f$ e $a_i = a_f$.

05. (CEFET-MG) Duas pessoas puxam as cordas de **02.** (UFMG) Dois ímãs, presos nas extremidades de dois fios

um dinamômetro na mesma direção e em sentidos finos, estão em equilíbrio, alinhados verticalmente, como

o p o s t o s , c o m f o r ç a s d e m e s m a i n t e n s i d a d e
mostrado na figura a seguir:

$$F = 100 \text{ N.}$$

Fio

Ímã

Fio

Nessas condições, o módulo da tensão no fio que está

Nessas condições, a leitura do dinamômetro, em newtons, é preso no ímã de cima é

A) 0. A) igual ao módulo da tensão no fio de baixo. B) 100. C) 200. D) 400.

B) igual ao módulo do peso desse ímã.

C) maior que o módulo do peso desse ímã.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

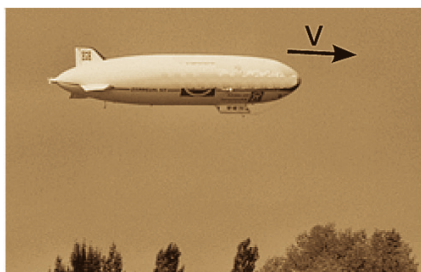
D) menor que o módulo da tensão no fio de baixo.

01. (UFMG–2010) Nesta figura, está representado um balão **03.** (UFJF-MG–2009) Considere as seguintes informações:

dirigível, que voa para a direita, em altitude constante e I. Segundo

a 1ª Lei de Newton, é necessária uma força

com velocidade v , também constante. resultante para manter com velocidade constante



o movimento de um corpo se deslocando numa superfície horizontal sem atrito.

II. De acordo com a 2ª Lei de Newton, a aceleração adquirida por um corpo é a razão entre a força resultante que age sobre o corpo e sua massa.

Sobre o balão, atuam as seguintes forças: o peso P , normal constituem um par ação-reação. **FÍSICA** III. Conforme a 3ª Lei de Newton, a força peso e a força

o empuxo E , a resistência do ar R e a força M , que é

devida à propulsão dos motores. Assinale a alternativa Assinale a alternativa que contém as afirmações

que apresenta o diagrama de forças em que estão **MAIS CORRETAS**.

BEM representadas as forças que atuam sobre esse balão. A) I e II C) II e III E) Todas estão corretas.

A) B) I e III D) Somente II E

R **04.** (UNIFESP–2008) Na figura, está representado um lustre M pendurado no teto de uma sala.

A) F v E) é análogo ao experimento que consiste em puxar

a rapidamente uma folha de papel sobre a qual repousa

F v a uma moeda, e observar que a moeda praticamente

não se move.

(t_1) (t_3)

B) **08.** (UFV-MG–2006) Uma partícula desloca-se numa trajetória

v a F retilínea de acordo com o gráfico posição *S versus*

F v a tempo t , a seguir.

(t S Reta Parábola) 1) (t_3

C) v a

F v a

F

(t_1) (t_3) τ

D)

Assinale a alternativa que representa **CORRETAMENTE**

a relação entre o módulo da força resultante R que atua

sobre a partícula com o tempo t .

(t_1) (t_3) A) R

06. (UFJF-MG) Na figura a seguir, representamos uma esfera

de massa m , presa ao teto de um vagão e em repouso

em relação a este. O vagão desloca-se em movimento τ t

retilíneo com uma aceleração a para a direita em relação ao B) R

solo. Do ponto de vista de um observador em repouso em

relação ao solo, qual das alternativas seguintes representa

CORRETAMENTE as forças que atuam sobre a massa m ? τ t

a

C)

R

m

τ t

A) C) E) T D) R T T

m m m

F

P P τ t

B) D) N E) R T T

m m

F

P τ P t

Leis de Newton

09. (Fatec-SP) Um corpo está sujeito a três forças. Considere as afirmações:

coplanares, cujas intensidades constantes são 10 N, I. Após desprender-se do irrigador, a única aceleração

4,0 N e 3,0 N. Suas orientações encontram-se que o passarinho possui é a da gravidade.

definidas no esquema:

II. O passarinho é arremessado por uma força radial, y orientada do centro para fora do irrigador. 10 N

III. O movimento horizontal do passarinho, após perder

4,0 N 37° velocidade tangencial por ele adquirida. o contato com o irrigador, só depende da última

3,0 N IV. A força que arremessa o passarinho encontra seu par x ação-reação no irrigador.

Dados:

Com base na Mecânica Clássica de Newton, é **CERTO**

$\cos 37^\circ = 0,80$ dizer que apenas $\sin 37^\circ = 0,60$

A) I e III são verdadeiras.

A aceleração que o corpo adquire quando submetido B) II é verdadeira.

exclusivamente a essas três forças tem módulo 2,0 m/s².

C) II e IV são verdadeiras.

Pode-se concluir que a massa do corpo é, em kg,

D) I e IV são verdadeiras.

A) 8,5. B) 6,5. C) 5,0. D) 2,5. E) 1,5.

10. (Unirio-RJ) bola descreve uma trajetória parabólica.

Desprezando-se 12. (UFLA-MG) Num jogo de voleibol, é dado um saque e a



a resistência do ar, a alternativa **CORRETA** que mostra

a força resultante que age sobre a bola ao longo da

trajetória
é:

A) D)

A análise sequencial da tirinha e, especialmente, a do B) E)

quadro final, nos leva imediatamente ao(à) **FÍSICA**

A) Princípio da Conservação da Energia Mecânica.

B) propriedade geral da matéria, denominada inércia.

C) Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento. C)

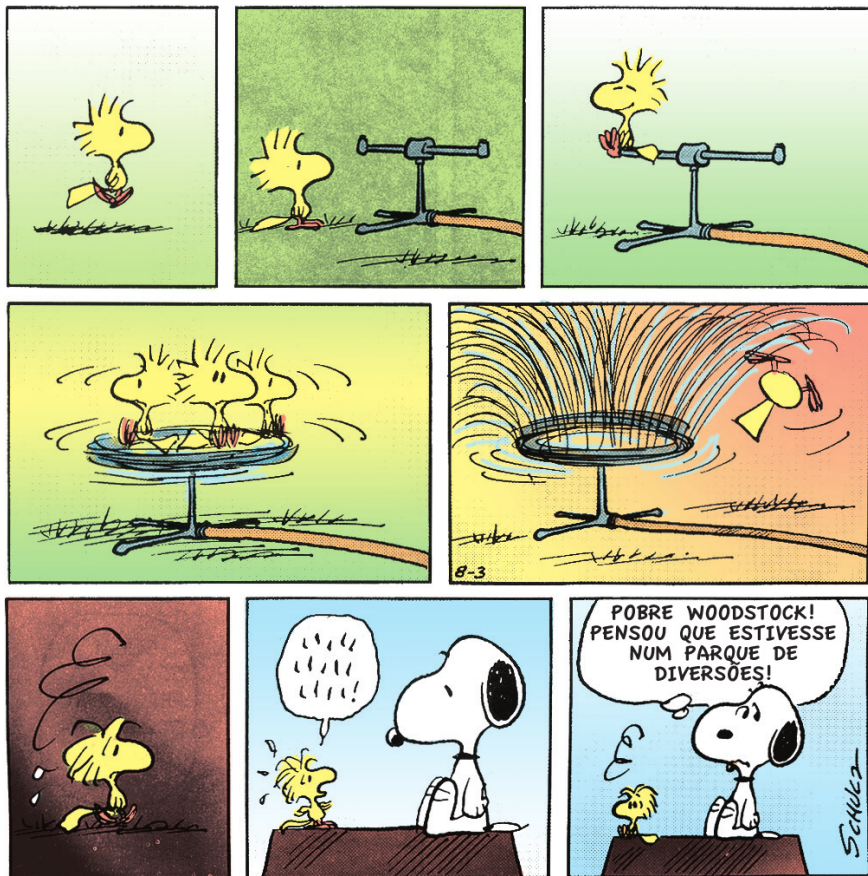
D) Segunda Lei de Newton.

E) Princípio da Independência dos Movimentos.

11. (FMTM-MG) Observe estas tirinhas de Schulz, criador de e o deslocamento 13. (PUCPR-2006) Considere o diagrama que relaciona a força F Δx sofrido por um corpo de massa m

Snoopy e Woodstock.

apoiado em um plano horizontal sem atrito.



Força (N)

B C

A D E

O movimento é retilíneo e no ponto A, a velocidade é nula.

Com base nessas informações, analise:

I. No trecho BC, o movimento é uniforme.

II. No trecho ABC, a velocidade aumenta.

III. No trecho DE, a velocidade é nula.

IV. No trecho DE, o movimento é uniforme.

V. No trecho AB, o movimento é uniformemente
acelerado.

Está(ão) **CORRETAS**

A) somente II. C) somente III. E) II e III. B) II e IV. D) somente IV.

Editora Bernoulli **25**

Frente A Módulo 06

14. (UFC–2007) Um pequeno automóvel colide frontalmente A) um tenista jogar a bola bem alto para dar um saque

com um caminhão, cuja massa é cinco vezes maior que a e tentar o *ace*.

massa do automóvel. Em relação a essa situação, marque B) um boxeador girar o tronco para desferir um golpe

a alternativa que contém a afirmativa **CORRETA**. com mais potência.

A) Ambos experimentam desaceleração de mesma C) um nadador

puxar o máximo de água para trás a fim

intensidade. de ganhar propulsão.

B) Ambos experimentam força de impacto de mesma D) um jogador de basquete pular ao fazer um arremesso

intensidade. de 3 pontos.

C) O caminhão experimenta desaceleração cinco vezes E) o jogador de futebol tomar distância para bater uma

mais intensa que a do automóvel.

falta com mais força.

D) O automóvel experimenta força de impacto cinco

E) O caminhão experimenta força de impacto cinco vezes A A 10 N 10 N mais intensa que a do automóvel. vezes mais intensa que a do caminhão. **02.**



15. (UFPel-RS-2006) Um pescador possui um barco a vela que



é utilizado para passeios turísticos. Em dias sem vento, B esse pescador não conseguia realizar seus passeios. 10 N

Tentando superar tal dificuldade, instalou, na popa do 10 N barco, um enorme ventilador voltado para a vela, com o objetivo de produzir vento artificialmente. Na primeira Figura 1

Figura 2

oportunidade em que utilizou seu invento, o pescador percebeu que o barco não se movia como era por ele. As figuras anteriores representam superfícies horizontais

esperado. O invento não funcionou! sem atrito, nas quais estão apoiados um bloco A, de

A razão para o não funcionamento desse invento é que peso 10 N. Na figura 1, um bloco B, de peso 10 N,

está conectado ao bloco A por meio de um fio ideal,

A) a força de ação atua na vela e a de reação, no ventilador.

enquanto que, na figura 2, uma pessoa exerce uma força

B) a força de ação atua no ventilador e a de reação, na água. de 10 N na extremidade de um fio ideal conectado ao

C) ele viola o Princípio da Conservação da Massa. bloco A. Em ambos os casos, o bloco A é puxado pelo fio

D) as forças que estão aplicadas no barco formam um e entra em movimento acelerado. Comparando-se o valor

sistema, cuja resultante é nula. da tensão na corda e a aceleração dos blocos nas duas

E) ele não produziu vento com velocidade suficiente para situações, conclui-se que a tensão na corda

movimentar o barco. A) e a aceleração do bloco A são maiores na situação da

16. figura 1. (Unipar-PR-2007) Com relação à 3ª Lei de Newton,

analise as proposições seguintes. B) é maior na situação da figura 1, e a aceleração do

I. A força que a Terra exerce sobre a Lua é exatamente bloco A é maior na situação da figura 2.

igual, em intensidade, à força que a Lua exerce sobre C) e a aceleração do bloco A são maiores na situação da

a Terra. figura 2.

II. Se um ímã atrai um prego, o prego atrai o ímã com D) é maior na situação da figura 2, e a aceleração do

uma mesma força de mesma intensidade e direção, bloco A é maior na situação da figura 1.

mas com sentido contrário. E) e a aceleração do bloco A são iguais nas duas

III. A força que possibilita um cavalo puxar a carroça é a situações.

força que a carroça exerce sobre ele.

Podemos afirmar que **GABARITO**

A) somente as proposições I e II estão corretas.

B) somente as proposições I e III estão corretas. **Fixação**

C) somente as proposições II e III estão corretas.

01. A 02. A 03. C 04. B 05. B

D) as proposições I, II e III estão corretas.

E) somente a proposição II está correta. **Propostos**

01. 03. D 07. D 11. A 15. D

As Leis de Newton se relacionam com as mais diversas 04. C 08. B
12. C 16. A

situações e processos. No campo esportivo, por exemplo,

algumas das técnicas que dão ao atleta vantagem **Seção** **Enem**

competitiva em relação a seu oponente estão relacionadas

com a 3ª Lei de Newton. Assim, o processo que está mais 01. C 02.
C

diretamente ligado à Lei da Ação e Reação é

26 Coleção Estudo **FÍSICA MÓDULO** **FRENTE 1 a Lei da Termodinâmica** **05 B**

Todo corpo, independentemente do seu estado físico,
possui uma energia interna associada ao movimento
de suas moléculas. Essa energia depende basicamente
da quantidade de moléculas e da temperatura do
corpo Pás

(sistema). Em geral, a energia interna e o estado de um Gás Bloco m

sistema variam quando há uma troca de energia, na forma h de calor e trabalho, entre o sistema e a sua vizinhança.

Assim, para calcular a variação de energia interna, basta

fazermos um balanço do calor e do trabalho trocado entre

o sistema e a vizinhança. Esse balanço, denominado de

1ª Lei da Termodinâmica, nada mais é do que o

Princípio *Figura 1: Um trabalho é realizado sobre o gás quando o bloco*

da Conservação da Energia aplicado a sistemas térmicos. *se desloca para baixo.*

N e s t e m ó d u l o, v a m o s e s t u d a r a p l i c a ç ã o e s d a Outra forma importante de trabalho é devida ao

movimento de fronteira de um sistema. A fronteira de um

1ª Lei da Termodinâmica em sistemas gasosos, embora

sistema é a superfície imaginária que envolve o sistema

esse princípio possa ser aplicado a qualquer estado da

de estudo, separando-o da vizinhança. Por exemplo,

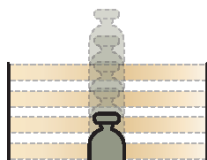
matéria. Iniciaremos o módulo ensinando como calcular o

na figura 2, considere que o sistema seja o gás contido no

trabalho realizado ou sofrido por um gás. Em seguida, vamos cilindro. Então, a superfície em sua volta (linha tracejada)

apresentar a equação da 1ª Lei da Termodinâmica, usando-a é a fronteira, e todo o restante é a vizinhança: o cilindro,

para analisar as transferências de energia em um gás ideal, o êmbolo, o bico de Bunsen, o ar ambiente, etc. sujeito a transformações termodinâmicas especiais.



Na sequência, vamos ampliar o conceito de calor específico e

aprender a calcular o calor recebido ou cedido por um gás em n transformações isobáricas e isovolumétricas. Por fim, vamos

usar a 1ª Lei da Termodinâmica para estudar a transformação Estado Estado $F = P A$ inicial final o adiabática, processo caracterizado pela ausência de troca P

de calor entre o sistema e a vizinhança. Pressão

GASOSOS

Figura 2: Trabalho realizado devido ao movimento

de fronteira

do gás.

Um sistema gasoso pode trocar trabalho com a sua vizinhança por diferentes formas. Por exemplo, um gás pode Agora, vamos calcular o trabalho que o gás troca

com a vizinhança na situação mostrada na figura 2.

ser aquecido devido ao trabalho realizado por uma força de

Nessa montagem, o gás se expande, realizando um trabalho

atrito, como ilustra a figura 1. Nessa montagem, à medida

sobre a vizinhança. Como o êmbolo se desloca livremente,

que o bloco desce com velocidade constante, a energia

a pressão P exercida pelo gás é constante (expansão

potencial gravitacional do bloco converte-se em trabalho, isobárica mostrada no gráfico da figura 2).

Isso significa

realizado pela força de atrito entre as pás e o gás. O módulo que a força F que o gás exerce sobre o êmbolo mantém-se

do trabalho realizado sobre o gás é $W = mgh$, em que m é constante durante o deslocamento. Da Mecânica, sabemos

a massa do bloco, g é a aceleração da gravidade, e h é o que o trabalho realizado por essa força pode ser calculado

deslocamento do bloco. pelo produto entre F e o deslocamento Δx do êmbolo.

Editora Bernoulli 27

Frente B Módulo 05

A força, por sua vez, pode ser expressa pelo produto entre a Para finalizar, destacamos o fato de o sinal do trabalho

pressão P e a área A do êmbolo. Assim, o trabalho realizado ser invertido em relação ao sinal do calor. Conforme já

pelo gás é $W = PA \Delta x$. Note que o produto $A \Delta x$ representa a aprendemos, o calor é positivo quando um sistema recebe

variação de volume ΔV sofrida pelo gás. Assim, concluímos calor da vizinhança. Ao contrário, o

trabalho é positivo quando

que o trabalho devido ao movimento de fronteira de um gás, o sistema fornece trabalho à vizinhança. Adiante, na figura 3,

em um processo isobárico, é dado por: apresentamos um resumo da convenção dos sinais do calor Q

e do trabalho W . Certifique-se de ter entendido esses sinais.



$W = P \Delta V$ Eles serão fundamentais para resolvermos vários problemas ΔV sobre a 1ª Lei da Termodinâmica.

Essa equação é muito importante e podemos tirar algumas

conclusões a partir dela. Primeiramente, vamos usá-la para confirmar que a unidade de trabalho, no Sistema Internacional, é o joule (J). De acordo com a equação, $Q > 0$ $Q < 0$

a unidade de trabalho é o produto entre as unidades de Sistema pressão e de volume. No SI, como esperado, esse produto é

$(\text{N/m}^2) \cdot \text{m}^3$ $W < 0$ $W > 0 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$. Em alguns exercícios, usaremos

as unidades atm e L para a pressão e para o volume,

respectivamente. Nesses casos, o trabalho será dado em Vizinhança atm.L, e devemos ter em mente que essa é também uma unidade de energia.

Observe que a área sob o gráfico de pressão *versus* volume *Figura 3: Convenção de sinais do calor e do trabalho.*

mostrado na figura 2 é exatamente igual ao produto $P\Delta V$,

ou seja, essa área é numericamente igual ao trabalho

A 1ª LEI DA TERMODINÂMICA

realizado pelo gás. Na verdade, a área sob o gráfico P *versus* V ,

independentemente de a pressão ser ou não constante,

fornece o valor do trabalho realizado pelo gás ou sobre ele. **Energia interna**

O trabalho possui um sinal. Como o valor da pressão é

Antes de estudarmos a 1ª Lei da Termodinâmica,
vamos

sempre positivo, o sinal do trabalho é determinado pelo sinal

da variação de volume. Quando o gás sofre uma

expansão, discutir um pouco mais o conceito de energia interna

como aquela indicada na figura 2, de um corpo (sistema). Diferentemente do trabalho e $\Delta V > 0$. Por isso, o trabalho

também é positivo. Quando o gás é comprimido, do calor, a energia interna é uma propriedade de estado. $\Delta V < 0$,

de forma que o trabalho também é negativo. É claro que Qualquer sistema, como uma amostra de gás contida em

$W = 0$ quando um recipiente, não possui trabalho ou calor, mas possui $\Delta V = 0$. Nesse caso, embora haja força do

gás contra o recipiente, não há deslocamento da fronteira energia interna. Assim como a temperatura, o volume e

do sistema. O quadro a seguir apresenta um resumo sobre a pressão, a energia interna é uma grandeza de estado.

os sinais do trabalho. Do ponto de vista microscópico, a energia interna representa

o conteúdo energético das moléculas do sistema.
Conforme

Processo W já aprendemos no estudo dos gases, a energia interna de um

Expansão (W realizado pelo gás) gás ideal monoatômico é devida apenas à energia cinética

+

de translação dos átomos e o seu valor é dado por:

Compressão (W realizado sobre o gás) –



$$\text{Processo isovolumétrico zero } U = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} nRT \\ = \frac{3}{2} PV$$

Os sinais de W discutidos aqui não são restritos ao trabalho

devido ao movimento de fronteira, devendo ser usados P, V e T são a pressão, o volume e a temperatura absoluta

para qualquer forma de trabalho. Por exemplo, na figura 1, do gás. N e n são o número de moléculas e o número de

a vizinhança (as pás, o bloco e o conjunto de polias e corda) mols do gás, respectivamente. O fator k é a constante de

realiza um trabalho sobre o sistema (o gás). Do ponto de vista Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), definida pelo quociente entre

do gás, esse trabalho é negativo. Para $m = 1,0$ kg e $h = 0,20$ m, a constante universal dos gases ideais ($R = 8,314$ J/mol.K)

por exemplo, o trabalho vale $W = -1,0 \cdot 10^0,20 = -2,0 \text{ J}$. e o número de Avogadro ($N = 6,02 \times 10^{23}$ moléculas/mol). ^A

28 Coleção Estudo

1ª Lei da Termodinâmica

O principal interesse da Termodinâmica não é a quantidade **Os sinais de Q , W e ΔU**

de energia interna de um sistema, mas sim as variações

da energia interna que ocorrem quando esse sistema
No exemplo numérico apresentado anteriormente,

sofre uma transformação termodinâmica. Quando um gás os sinais de Q , W e ΔU foram todos positivos (de acordo com ideal monoatômico sofre uma variação de temperatura ΔT , as nossas convenções de sinais, $Q > 0$ porque o gás recebeu a variação da energia interna do gás pode ser calculada por calor, e $W > 0$ porque o gás se expandiu, realizando trabalho). $\Delta U = 3NK \Delta T/2$. Em um processo isotérmico, ΔT é zero e, Em outras situações, podemos ter outras combinações de consequentemente, ΔU também é zero. sinais para Q , W e ΔU (inclusive zero). Nós já conhecemos

Para gases ideais poliatômicos, a energia interna é maior o significado dos sinais de Q e W . A seguir,

vamos explicar

que $3NkT/2$, pois, além de as moléculas terem velocidade o significado do sinal de ΔU para um gás ideal. de translação, elas também vibram e giram em torno de si.

O importante é que, mesmo sendo maior, a energia interna Sabemos que a energia interna de um gás ideal é

continua sendo diretamente proporcional ao número de proporcional à sua temperatura absoluta. Então, a energia

moléculas e à temperatura absoluta do gás. interna de uma amostra de gás ideal (massa fixa) aumenta

A 1ª Lei da Termodinâmica e quando a temperatura do gás aumenta. Portanto, a variação

da energia interna é positiva quando a temperatura
aumenta

a conservação da energia e negativa quando a temperatura diminui. Naturalmente, quando a temperatura não se altera, a variação da energia

A 1ª Lei da Termodinâmica é um princípio geral que leva interna é nula. A tabela a seguir apresenta um resumo sobre

em conta a variação de energia interna de um sistema

os sinais de Q , W e ΔU . É importante compreendermos esses quando ele, durante um processo, troca energia com a sua sinais, em vez de simplesmente memorizá-los. Observe que,

vizinhança. Para explicar isso, vamos analisar um exemplo nesta tabela, apresentamos uma transformação na qual $Q = 0$.

numérico envolvendo o balanço de energia de um gás
Essa transformação é denominada adiabática e será estudada

dentro de um cilindro com êmbolo. Inicialmente (estado 1), com mais detalhes posteriormente. o êmbolo está em repouso. Nessa condição, digamos que a

energia interna do gás é U Sistema realiza trabalho $W > 0 = 1\,000\text{ J}$. Agora, considere que o

gás seja aquecido por uma fonte quente, recebendo, ao longo Sistema sofre trabalho $W < 0$ **FÍSICA** de alguns segundos, uma quantidade de calor $Q = 400\text{ J}$.
Transformação isovolumétrica $W = 0$

A energia interna não irá aumentar para $1\,400\text{ J}$, pois o gás, Sistema recebe calor $Q > 0$ ao ser aquecido, se expande, realizando um trabalho sobre Sistema libera calor $Q < 0$ a vizinhança. Digamos que esse trabalho seja $W = 100\text{ J}$. Transformação adiabática $Q = 0$ Desse modo, durante o processo, o gás recebe 400 J de Temperatura do sistema aumenta $\Delta U > 0$ energia na forma de calor, mas despende uma energia de Temperatura do sistema diminui $\Delta U < 0\,100\text{ J}$ na forma de trabalho. O resultado é que o gás recebe Transformação isotérmica $\Delta U = 0$

uma energia líquida de $+300 \text{ J}$. Esse é o valor que devemos

somar à energia interna inicial do gás, de maneira que a Para mostrar a importância dos sinais dessa tabela, vamos

energia interna final do sistema seja U analisar o seguinte exemplo. Considere um cilindro com gás, $= 1300 \text{ J}$. Observe ₂

que a variação na energia interna do gás, aquecido por meio de uma resistência elétrica enrolada na $\Delta U = U - U_{,21}$

é igual à diferença $Q - W$. Assim, matematicamente, parede externa do cilindro. A figura 4 ilustra duas fronteiras

a 1ª Lei da Termodinâmica é escrita da seguinte forma: (em traço pontilhado) que podemos usar para estudar o

problema: uma envolve apenas o gás, e a outra inclui o



Δ cilindro e a resistência. Nesse exemplo, vamos admitir que $U = Q - W$

o gás seja muito denso e que as massas do cilindro e da

resistência possam ser desprezadas.

Pensando bem, a equação anterior é bastante

semelhante

ao balanço financeiro que uma empresa, ou uma pessoa

física, faz no final de cada mês:

$$\text{Saldo} = \text{Receitas} - \text{Despesas} \quad \text{Gás } Q = -100 \text{ J} + - + -$$

Da mesma forma que o saldo é o resultado dos aportes Bateria Bateria

(receitas) e das retiradas (despesas) financeiras de $Q = +100 \text{ J}$ Gás uma entidade, a variação da energia interna é fruto das

entradas e das saídas de energia em um sistema. Assim,

não há criação de energia, há conservação da energia total.

A 1ª Lei da Termodinâmica nada mais é do que o Princípio *Figura 4: De acordo com a fronteira, o gás pode receber calor*

da Conservação da Energia aplicado a sistemas térmicos. ou trabalho.

Editora Bernoulli 29

Frente B Módulo 05

Primeiramente, vamos analisar o problema

considerando Pressão

a fronteira que envolve apenas o gás. Nesse caso, há uma

diferença de temperatura na interface da fronteira, pois a Estado inicial temperatura da parede do cilindro é maior que a temperatura do gás. Assim, concluímos que o calor atravessa a fronteira 1 P do sistema. Vamos supor que, após o aquecimento do gás,

esse calor seja $Q = +100 \text{ J}$ (o sinal é + porque o gás recebe

calor). Agora, vejamos se algum trabalho atravessa a fronteira P/2 3 2 do sistema. Como não há força agindo através da fronteira, T concluímos que $W = 0$. Substituindo esses valores na equação da T/2

1ª Lei da Termodinâmica, obtemos $\Delta U = +100 - 0 = +100 \text{ J}$. Note que V 2V Volume ΔU é positivo, significando, como esperado, que a

temperatura do gás aumenta.

Inicialmente, vamos analisar a etapa isotérmica

Agora, vamos analisar o problema do ponto de vista da (processo 1-2). Como a temperatura permaneceu constante,

fronteira que envolve a resistência elétrica. Nesse caso,

a energia interna também não variou. Assim, $\Delta U = 0$.

não há diferença de temperatura na interface da fronteira.

Como o gás se expandiu, ele realizou um trabalho.

Logo, $Q = 0$. A corrente elétrica que atravessa a fronteira

Logo, W é positivo (área hachurada no gráfico). Agora, do sistema é gerada pela ação da força elétrica sobre as

cargas livres do fio de ligação entre a bateria e a resistência para analisar o calor, vamos escrever a 1ª Lei da

elétrica. A presença dessa força implica que o sistema recebe Termodinâmica da seguinte forma: $Q = \Delta U + W$. Como a

um trabalho da vizinhança. Como as massas do cilindro e primeira parcela é zero e a segunda é positiva, conclui-se

da resistência são desprezíveis, o módulo do trabalho é que o calor Q é positivo. Logo, o gás ganhou calor durante

igual ao módulo do calor citado na análise anterior, isto a expansão. Apesar disso, a temperatura do gás não

é, $W = -100 \text{ J}$ (o sinal é – porque o gás recebe trabalho). aumentou, pois um trabalho, igual ao calor recebido,

Substituindo Q e W na equação da 1ª Lei da Termodinâmica, foi despendido pelo gás ao longo da expansão.

achamos $\Delta U = 0 - (-100) = +100 \text{ J}$. Note que esse resultado Agora, vamos analisar a etapa isobárica (processo 2-3). É idêntico ao obtido anteriormente. O gás foi comprimido, de forma que um trabalho



foi realizado sobre ele. Nesse caso, W é negativo



(área retangular no gráfico, indicada em amarelo).



PARA REFLETIR



Nessa etapa, a temperatura do gás diminui, e a energia



Uma mola comprimida (fixa por um fio de aço) interna também. Assim, ΔU é negativo. De acordo com

foi imersa em um ácido. Então, lentamente, a 1ª Lei da Termodinâmica, $Q = \Delta U + W$, Q é negativo,



a mola se dissolveu. O que aconteceu com a pois as parcelas ΔU e W são negativas. Portanto, o gás

energia potencial elástica da mola? cedeu calor para a vizinhança. Poderíamos ter chegado a

essa conclusão sem usar muita matemática. Como o gás

recebeu um trabalho, a energia interna e a temperatura

EXERCÍCIO RESOLVIDO deveriam, em

princípio, aumentar. Porém, ocorreu

justamente o contrário. A explicação para isso é que o

01. Um gás ideal se expande isotermicamente, dobrando de energia interna, o módulo de Q deve ser maior que o de W . gás cedeu calor. Além disso, para justificar a redução na

volume. A seguir, o gás é comprimido isobaricamente até

o volume voltar ao valor inicial. Por último, o gás tem a Na etapa isovolumétrica (processo 3-1), $W = 0$,

pressão aumentada isovolumetricamente até a pressão pois não há variação do volume do gás. A temperatura

voltar ao valor inicial. Determinar se o gás recebeu ou aumenta, pois, sendo esse um processo isovolumétrico,

cedeu calor para a vizinhança em cada uma dessas etapas a temperatura é diretamente proporcional à pressão

e durante todo o ciclo. do gás. Logo, a energia interna aumenta, e ΔU é positivo.

Resolução: Assim, na equação $Q = \Delta U + W$, a primeira parcela do

A figura a seguir mostra o diagrama pressão *versus* segundo membro é positiva, e a segunda é zero. Portanto,

volume para o ciclo. As pressões, os volumes e as Q é positivo, e o gás recebeu calor. Esse resultado era

temperaturas absolutas indicadas foram calculados por esperado, pois a energia interna aumentou, e não houve

meio da equação de estado de um gás ideal, tomando realização de trabalho. Então, o aumento da energia

como referência os valores iniciais P , V e T . interna é decorrente do fato de o gás ter recebido calor.

30 Coleção Estudo

1ª Lei da Termodinâmica

Em todo ciclo, o estado final é idêntico ao estado inicial. Os parâmetros c_p e c_v são os calores específicos molares

de forma que $\Delta U = 0$. O trabalho no ciclo é a soma algébrica à pressão e a volume constantes, respectivamente,

dos trabalhos parciais que ocorrem em cada etapa. cujas unidades podem ser J/mol.K e atm.L/mol.K. Os valores

O trabalho é positivo na expansão isotérmica, negativo de c_p e c_v dos gases ideais dependem do tipo de gás e da

temperatura. Os gases monoatômicos, como os gases

na compressão isobárica e zero no aquecimento

nobres, são exceções. Todos eles, independentemente da

isovolumétrico. A soma desses valores é positiva, pois

o módulo do trabalho positivo é maior que o módulo
temperatura, possuem $c = 5R/2$ e $c = 3R/2$, sendo R
 a_{pv}

constante universal dos gases. A tabela seguinte
contém os

do trabalho negativo. Na prática, o trabalho líquido é valores de
 c e de c para alguns gases a 25 °C. A última p

numericamente igual à área dentro do ciclo, indicada v

coluna da tabela é o coeficiente de Poisson (γ),
importante

em azul no gráfico deste exercício. Esse valor é
positivo parâmetro dos gases e definido pela relação γ
 $= c / c_{pv}$ quando o ciclo ocorre no sentido horário (como neste

exercício), e negativo quando o sentido for anti-horário. **c_{pv} Gases
ideais a 25 °C γ** De acordo com a equação $Q = \Delta U + W$, como a
primeira (J/mol.K) (J/mol.K)

parcela do segundo membro é zero e a segunda é positiva,

Ar 29,1 20,8 1,40

o calor líquido é positivo. Logo, o gás recebeu calor.

Dióxido de carbono 37,1 28,7 1,29

O quadro a seguir é um resumo da solução deste

exercício. A sua construção é frequentemente pedida em Nitrogênio
29,2 20,9 1,40

questões abertas de vestibulares. Oxigênio 29,5 19,9 1,48

Monoatômico

Processo W U Q (a qualquer pressão e $5 R 3 R 5 c =$
 $c = p v 2$

1-2 temperatura) $2 3 + 0 +$

2-3 Para qualquer gás, c é maior do que c
. Isso significa que $p - - - v$ o calor para
aquecer um gás à pressão constante é
maior

do que o calor para aquecer o gás a volume constante,
para **FÍSICA**

$3-1 0 + +$

uma mesma elevação de temperatura. No aquecimento

Ciclo isovolumétrico, o calor é usado apenas para
elevar a $+ 0 +$

temperatura e a energia interna do gás. O
aquecimento

isobárico consome mais energia porque, além de
receber

calor para aumentar sua energia interna, o gás deve
receber

CALORES ESPECÍFICOS uma quantidade extra de calor para poder realizar um trabalho de expansão.

DE UM GÁS As expressões de c_p e c_v para os gases monoatômicos

podem ser deduzidas igualando-se a equação da

No estudo da Calorimetria, usamos a equação $Q = mc \Delta T$ 1ª Lei da Termodinâmica com a equação da variação da

para calcular a transferência de calor entre os corpos. Nessa energia interna para um gás ideal monoatômico: equação, m e ΔT são a massa e a variação de temperatura

do corpo, respectivamente. O calor específico c é uma $Q - W = NK \Delta T$ propriedade física que depende da substância do corpo.

Podemos usar uma equação semelhante à equação anterior Na transformação isovolumétrica, não há trabalho ($W = 0$).

para calcular a transferência de calor em um gás. Nesse caso, Substituindo esse valor na equação anterior e fazendo

o calor específico dependerá da natureza do gás e também $N = nN_A$ e $K = R/N$, obtemos:

do tipo de processo. Para uma transformação isobárica e $3nR \Delta T / 2 = Q - 0 = n \Delta T$ outra isovolumétrica, o calor transferido pode ser calculado $2nR / 2$ pelas seguintes equações:



Comparando $Q = nc_p \Delta T$ com a expressão anterior, $Q = nc_v \Delta T$

$Q = nc_p \Delta T$ e $Q = nc_v \Delta T$ concluímos que $c = 3R/2$, como queríamos demonstrar.

Para o processo isobárico, devemos usar o mesmo

Nessas equações, n é a quantidade de gás (por exemplo, procedimento, lembrando que, agora, existe um trabalho

em mols) e ΔT é a variação de temperatura na escala Kelvin dado por $W = P \Delta V = nR \Delta T$. Deixamos para você a tarefa

(ou Celsius, pois ΔT é o mesmo em ambas as escalas). de completar os cálculos e de demonstrar que $c = 5R/2$.

Editora Bernoulli 31

Frente B Módulo 05

TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA

Sendo $\Delta U = -W$, e como W é positivo na expansão,

concluimos que ΔU é negativo. Essa redução da energia

interna implica uma diminuição da temperatura do gás.

Quando um gás é comprimido ou expandido sem

Na compressão adiabática (processo BA), a temperatura

trocar calor com a vizinhança, dizemos que o gás sofreu

aumenta, pois, nesse caso, W é negativo e ΔU é positivo.

uma transformação adiabática (do grego, intransitável).

Essa transformação pode ser obtida de duas formas. Podemos citar muitos exemplos cotidianos de resfriamentos

O recipiente que contém o gás pode ser isolado termicamente e aquecimentos adiabáticos. Quando apertamos a válvula de

da vizinhança por meio de um material como isopor ou lã um desodorante *spray*, um pouco de vapor é liberado por

de vidro, ou o gás pode ser comprimido ou expandido tão meio de uma expansão súbita e adiabática, provocando o

rapidamente que ele não terá tempo para ceder ou ganhar resfriamento do frasco. Ao contrário, uma

bomba manual de

calor da vizinhança. encher pneus de bicicleta se aquece quando você comprime

rápida e adiabaticamente o ar em seu interior. Os processos

Na transformação adiabática, a pressão P , o volume V e a adiabáticos não se restringem aos gases. Por exemplo,

temperatura T do gás variam. Além da relação de gás ideal, se sacudirmos violentamente uma garrafa com água por

$PV/T = \text{constante}$, a seguinte equação também se aplica: 2 ou 3 minutos, a temperatura da água aumentará alguns

décimos de grau. Esse aquecimento é adiabático, e o



o aumento da energia interna da água é devido ao trabalho

$$PV = \text{constante}$$

que transferimos ao líquido.

Para finalizar, vamos discutir a expansão livre.

Nessa equação, o expoente γ é o coeficiente de

Poisson, Nesse processo, um gás se expande sem sofrer resistência.

definido no tópico anterior. A dedução dessa equação é um Por exemplo, imagine dois balões idênticos, um contendo

pouco complicada e será omitida. Na verdade, usaremos gás ideal sob pressão e o outro evacuado, conforme mostra

essa equação apenas para entendermos alguns aspectos do a figura 6. Em determinado instante, a válvula que interliga

processo adiabático. De acordo com essa equação, quando o os balões é aberta, de forma que o gás se expande e

volume de um gás aumenta, a pressão diminui, de forma que passa a ocupar o volume total do sistema. Essa expansão

o produto PV_γ permanece constante (e vice-versa). Como γ é ocorre sem resistência, ou seja, não há força ao longo do

maior do que 1, a variação do termo V_γ é significativa. Assim, deslocamento. Portanto, em uma expansão livre, não há

para o produto PV_γ permanecer constante, a variação de P realização de trabalho. Em geral, a expansão livre é rápida,

deve ser inversa e um pouco maior do que a variação de V de forma que não há troca de calor. Substituindo

$$Q = 0 \text{ e}$$

(diferentemente da transformação isotérmica, em que P varia $W = 0$ na equação da 1ª Lei da Termodinâmica, obtemos

de forma inversa e proporcional a V). Esse comportamento $\Delta U = 0$. Isso significa que a temperatura final do gás é igual

está ilustrado na figura 5, que mostra o diagrama P *versus* V à temperatura inicial.

para um processo adiabático ocorrendo entre dois estados Gás ideal Vácuo A e B de um gás ideal. Neste gráfico, a área sob a curva que

representa o processo é numericamente igual ao trabalho.

Como $Q = 0$, concluímos que $\Delta U = 0 - W$, ou seja, o trabalho

em um processo adiabático é dado por $W = -\Delta U$.

$$P = C/V$$

Pressão A

T_B (Temperatura T_A (Temperatura *Figura 6: Exemplo de uma expansão livre.* menor) maior)

$$W_{AB} = -\Delta U$$

Volume

PARA REFLETIR

Figura 5: Transformação adiabática.



Por que o ar do solo que se eleva em uma



Observe nesse gráfico que a expansão adiabática
montanha ou em um ciclone pode atingir



AB produz um resfriamento no gás ($T < T_A$). Podemos
temperaturas gélidas? $T_B < T_A$

entender isso a partir da 1ª Lei da Termodinâmica.

32 Coleção Estudo

1ª Lei da Termodinâmica

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO 04. (UFMG)

Uma seringa, com extremidade fechada, contém uma certa quantidade
de ar em seu interior. Sampaio

01. (VUNESP) A Primeira Lei da Termodinâmica diz respeito à
mostrado nesta figura: puxa, rapidamente, o êmbolo dessa seringa,
como

A) dilatação térmica.

Tampa

B) conservação da massa.

44 55

C) conservação da quantidade de movimento.

D) conservação da energia.

E) irreversibilidade do tempo.

02. (UFES) Uma certa quantidade de gás ideal é levada de Considere o ar como um gás ideal. Sabe-se que, para

um estado inicial a um estado final por três processos um gás ideal, a energia interna é proporcional à sua

distintos, representados no diagrama $p \times V$ da figura a temperatura.

seguir. O calor e o trabalho associados a cada processo Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que,

são, respectivamente, Q e W , Q e W , Q e W . 1 1 2 2 3 3 no interior da seringa,

Está **CORRETO** afirmar que

A) a pressão do ar aumenta, e sua temperatura diminui.

p B) a pressão do ar diminui, e sua temperatura aumenta.

1 f C) a pressão e a temperatura do ar aumentam.

2 D) a pressão e a temperatura do ar diminuem. 3

05. (UFMG) A energia interna de um gás ideal é função

apenas de sua temperatura. Um gás ideal transforma-se, isotermicamente, de um estado inicial (A) para um estado final (B), como mostra a figura a seguir.

B) W FÍSICA < W A) W = W = W
e Q = Q = Q . A 1 2 3 1 2 3 25 P (10⁵
N/m³)

1 2 3 1 2 3

D) $W = W = W \text{ e } Q < Q < Q . 1 2 3 1 2 3$ 15 E) $W > W > W \text{ e } Q = Q = Q .$

10 B

transformações mostradas no diagrama a seguir. Assinale 5 a alternativa **CORRETA**.

P A B 1 A) Qual é, aproximadamente, o trabalho realizado pelo

gás?

B) Qual é a quantidade de calor absorvida da vizinhança

C pelo gás?

P₂ E D EXERCÍCIOS PROPOSTOS

V (L)

V **01.** (UFC–2010) Dois sistemas termodinâmicos completamente V₁ V₂ isolados são separados entre si por uma parede diatérmica

A) Na expansão isobárica AB, o gás cede calor ($Q < 0$). (que permite a passagem de energia), impermeável

(que não permite o fluxo de partículas) e fixa. No equilíbrio

B) Na expansão isotérmica AC, não existe troca de calor

termodinâmico, tais sistemas são caracterizados por

($Q = 0$).

apresenta

C) Na expansão adiabática AD, o gás não realiza trabalho

A) mesma energia e mesma temperatura.

($W = 0$).

B) diferentes energias e mesma temperatura.

D) No esfriamento isométrico AE, o gás recebe calor C) mesma energia e diferentes temperaturas.

($Q > 0$). D) energia igual a zero e mesma temperatura.

E) No esfriamento AE do gás, o trabalho realizado é nulo. E) diferentes energias e diferentes temperaturas.

Editora Bernoulli 33

Frente B Módulo 05

02. (Fafeod-MG) Um gás ideal sofre uma transformação **05.** (FESP-PR) Considere as seguintes afirmações relativas a

isovolumétrica (M) e uma expansão adiabática (N), partindo um gás perfeito.

da mesma temperatura inicial e chegando, em ambas as I. A energia interna de uma dada massa de gás ideal é

transformações, à mesma temperatura final. Sejam ΔU_M função exclusiva de sua temperatura. ΔU_N

e ΔU_N as variações de energia interna nas transformações II. Numa expansão isobárica, a quantidade de calor

M e N, respectivamente. Assim, é necessariamente recebida é menor que o trabalho realizado.

CORRETO afirmar que III. Numa transformação isocórica, a variação da energia

A) do gás é igual à quantidade de calor trocada com o $\Delta U = \Delta U_M$.
D) $\Delta U_M < \Delta U_N$.

B) ΔU_M meio exterior. $= \Delta U_N = 0$. E) $\Delta U_M > 0$ e ΔU_N

< 0 .

C) ΔU_M A) I e II estão corretas. $> \Delta U_N$

B) II e III estão corretas.

03. C) I e III estão corretas. (UFMG) Um gás ideal, em um estado inicial i, pode ser

levado a um estado final f por meio dos processos I, II e III, D) Todas estão corretas.

representados neste diagrama de pressão *versus* volume. E) Todas são incorretas.

p **06.** (Unimontes-MG–2010) Numa compressão isotérmica,

I o trabalho realizado sobre o gás é 800 J. O calor cedido

i pelo gás no processo e a variação da energia interna,

III II em joules, são iguais, respectivamente, a

f A) 800, 800.

B)
800,
–
800.

V C) zero, 800.

Sejam W_I , W_{II} e W_{III} os módulos dos trabalhos realizados D) 800, zero.

pelo gás nos processos I, II e III, respectivamente.

07. (ITA-SP / Adaptado) Um recipiente de volume ajustável

Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que

contém n mol de um gás ideal. Inicialmente, o gás

A) $W_I < W_{II} < W_{III}$. C) $W_I = W_{III} > W_{II}$.

está no estado A, ocupando o volume V , à pressão p .

B) $W_I = W_{II} = W_{III}$. D) $W_I > W_{II} > W_{III}$. Em seguida, o gás é submetido à transformação

indicada na figura. Calcule o calor absorvido pelo gás

04. (PUC-SP) O êmbolo do cilindro a seguir varia de 5,0 cm na transformação cíclica ABCA.

sua posição, e o gás ideal no interior do cilindro sofre p
uma expansão isobárica, sob pressão atmosférica. 2p C

O que ocorre com a temperatura do gás durante essa
transformação termodinâmica? Qual o valor do trabalho A

p B

ΔW realizado sobre o sistema pela atmosfera, durante a

expansão? $V \rightarrow 2V$

Dados: Pressão atmosférica: 10 N/m^2

$$A) Q = 0$$

$$\begin{aligned} B) \\ Q \\ = \\ npV/2 \end{aligned}$$

Área da base do êmbolo: 10 cm^2

$$\begin{aligned} C) \\ Q \\ = \\ - \\ npV/2 \end{aligned}$$

$$\text{Êmbolo } D) Q = 11pV/2$$

$$\begin{aligned} E) \\ Q \\ = \\ - \\ pV/2 \end{aligned}$$

08. (UFU-MG) Um gás ideal recebe reversivelmente $1\,000 \text{ cal}$ de energia em forma de calor. Em relação ao $5,0 \text{ cm}$ trabalho efetuado pelo gás nessa transformação, é **FALSO**

afirmar
que
será

A) nulo, se a variação de volume for nula.

Gás ideal B) $1\,000$ calorias, se a variação de temperatura for nula.

A) A temperatura aumenta; $\Delta W = -5,0 \text{ J}$ C) 1 000 calorias, se a variação de pressão for nula.

B) A temperatura diminui; $\Delta W = 5,0 \text{ J}$

D) menor que 1 000 calorias, se a variação de

C) A temperatura aumenta; $\Delta W = -5,0 \times 10^{-2} \text{ J}$ temperatura for positiva.

D) A temperatura não muda; $\Delta W = 5,0 \times 10^{-2} \text{ J}$ E) 1 000 calorias, se a variação de energia interna for

E) A temperatura diminui; $\Delta W = -0,5 \text{ J}$ nula.

34 Coleção Estudo

1ª Lei da Termodinâmica

09. (Mackenzie-SP) Um mol de oxigênio é mantido a volume **13.** (ITA-SP) Certa quantidade de gás expande-se

constante, porém sua energia interna varia com a adiabaticamente e quase estaticamente desde uma

temperatura de acordo com o gráfico. pressão inicial de 2,0 atm e volume de 2,0 litros na

temperatura de 21 °C até atingir o dobro de seu volume.

U (cal) Sabendo-se que para esse gás $\gamma = c_p/c_v = 2,0$, determine

1 000 a pressão final e a temperatura final do gás.

A) 0,5 atm e 10,5 °C C) 2,0 atm e 10,5 °C

500 B) 0,5 atm e -126 °C D) 2,0 atm e -126 °C

100 200 T (K) **14.** (CEFET-MG-2010) Sendo U a energia

interna, Q o calor

O calor específico do oxigênio a volume constante vale trocado com a vizinhança, e W o trabalho realizado em

A) 5 cal/mol.K. C) 15 cal/mol.K. uma expansão adiabática livre (pressão nula) de um gás

B) 10 cal/mol.K. D) 20 cal/mol.K. ideal, é **CORRETO** afirmar que

A) $\Delta U = 0$, $Q = 0$, $W = 0$. D) $\Delta U \neq 0$, $Q = 0$, $W \neq 0$.

10. (Unimontes-MG-2010) Um gás ideal, com um volume B) $\Delta U = 0$, $Q \neq 0$, $W \neq 0$. E) $\Delta U \neq 0$, $Q \neq 0$, $W = 0$.

inicial de $0,50 \text{ dm}^3$ e sob pressão inicial de $1,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, C) $\Delta U \neq 0$, $Q = 0$, $W = 0$.

sofre a transformação cíclica representada no diagrama

PV a seguir. 15. (UFMG-2009) Para estudar o comportamento de um gás,

P (10^5 N/m^2) um professor montou o sistema representado nesta figura:

4,0 Recipiente

R

3,0 Êmbolo

Gás

2,0 Manômetro

1,0

h_e h_d Mercúrio

0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 V (10^{-3} m^3) **FÍSICA**

O trabalho realizado, a variação de energia interna e o calor Nesse sistema, um recipiente de volume V , dotado

absorvido no ciclo, em joules, valem, respectivamente, de um êmbolo e de um registro R, contém um gás

A) zero, 600, 400. C) 400, 400, 600. que se comporta como um gás ideal. Um manômetro,

B) 600, zero, 600. que consiste em um tubo de vidro, em forma de U, D) 400, 600, zero.

que contém mercúrio, tem uma de suas extremidades

11. conectada ao recipiente, por intermédio do registro R, (FMIPA-MG) Sobre um gás confinado em condições ideais,

podemos afirmar **CORRETAMENTE** que, e a outra extremidade aberta.

A) numa compressão isotérmica, o gás cede calor para Inicialmente, o registro está aberto, e o gás está à pressão

o ambiente. atmosférica p_0 e à temperatura ambiente T_0 .

B) aquecendo o gás a volume constante, sua energia Sejam d a densidade do mercúrio, h_e e h_d a altura das

interna permanece constante. colunas de mercúrio, nos ramos da esquerda e da direita

C) numa expansão adiabática, a temperatura do gás do tubo, respectivamente.

aumenta. 1. A partir de certo instante, o professor comprime o

D) numa expansão isobárica, a temperatura do gás êmbolo, lentamente, para que o gás se mantenha à

diminui. temperatura ambiente, até reduzir à metade o volume

E) quando o gás sofre transformações num ciclo, ocupado, no recipiente, pelo gás. Considerando essa

o trabalho resultante que ele realiza é nulo. situação, **DETERMINE** a diferença de altura $(h - h_e)$ e d

entre as duas colunas de mercúrio no tubo de vidro,

12. em termos de p , d e g . o (UFMG) Como consequência da compressão adiabática

sofrida por um gás, pode-se afirmar que 2. Em seguida, o professor fecha o registro R e puxa

A) a densidade do gás aumenta, e sua temperatura o êmbolo, rapidamente, até este retornar à posição

inicial.

diminui.

B) a densidade do gás e sua temperatura diminuem. Isso feito, ele abre o registro R e, ao mesmo tempo,

observa o nível de cada uma das colunas de mercúrio

C) a densidade do gás aumenta, e sua temperatura

no tubo de vidro.

permanece constante.

D) a densidade do gás e sua temperatura aumentam. Considerando essa nova situação, responda:

E) a densidade do gás e sua temperatura permanecem A altura h_e é menor, igual ou maior que a altura h_d ?

constantes. **JUSTIFIQUE** sua resposta.

Editora Bernoulli **35**

Frente B Módulo 05

16. (PUC Rio–2010) Um motor contendo 0,5 mol de um gás **19.** (UFMG) Teodorico coloca um gás em um recipiente

ideal com $p = 150$ kPa e $V = 8,3$ litros funciona de acordo cilíndrico, fechado por um êmbolo que pode se mover o o

com o ciclo mostrado na figura a seguir. O percurso de livremente. Inicialmente, o gás está à temperatura

A a B é isocórico. Entre os pontos B e C, a pressão diminui ambiente, e o êmbolo, a uma altura h . Teodorico realiza,

linearmente com o volume. Entre C e A, o percurso é então, o procedimento descrito nestas etapas:

isobárico. Considerando que as capacidades de calor A) Aquece o gás, lentamente, deixando o êmbolo subir

molar do gás são $c_v = 10,0 \text{ J/mol.K}$ (a volume constante); até a altura H , como representado na figura I.

$c_p = 15,0 \text{ J/mol.K}$ (à pressão constante), e a constante p B) Continuando a aquecer o gás, ele coloca areia sobre dos gases $R = 8,3 \text{ J/mol.K}$, **DETERMINE** o êmbolo, aos poucos, de forma a mantê-lo fixo na

3P P B altura H , como mostrado na figura II. o C) Em certo momento, Teodorico para de aquecer o gás e

aguarda até que o êmbolo desça e retorne à altura h ,

como mostrado na figura III.

D) Em seguida, retira toda a areia, lentamente, de forma

P A C o a manter o êmbolo fixo na altura h , como mostrado

V V 2V o o na figura IV.

A) o trabalho realizado pelo motor durante a etapa AB

Êmbolo

do processo. H H Gás

B) as temperaturas nos pontos A, B e C. h h

C) o calor absorvido durante as etapas AB e CA.

17. (UFG–2007) A figura a seguir mostra o comportamento de n mols de um gás ideal, numa expansão adiabática AB, I III entre as isothermas T_A e T_B .

Dado: $\gamma = c_p / c_v = 5/3$

p (atm)

A H H

8 h h

$T_A = 400 \text{ K}$

P_B B T_B

0 2 16 V (L) II IV

Nas quatro etapas descritas, a pressão e o volume do gás

Com base no gráfico, **CALCULE**

variam como mostrado no diagrama a seguir.

A) a pressão P_B

B) a temperatura T_B

18. Pressã (UFMG) Sabe-se que a energia média de translação das moléculas de um gás é dada por $E = (3/2)KT$, em que k é a constante de Boltzmann, e T , a temperatura do gás. Considere uma amostra de um gás ideal monoatômico,

cuja energia interna é apenas a energia cinética de

translação de suas moléculas. Volume

A) Sabendo-se que o número de moléculas é Com base nas informações dadas,

$N = 2,0 \times 10^{24}$ moléculas e que sua temperatura é de 27°C , **DETERMINE** o valor da energia interna U 1.

IDENTIFIQUE, nesse diagrama, as etapas A e B

dessa amostra. (Considere $K = 1,4 \times 10^{-23} \text{ J/K}$.)

descritas. **JUSTIFIQUE** sua resposta.

B) Uma quantidade de calor $\Delta Q = 2,0 \times 10^3 \text{ J}$. Considerando completadas as quatro etapas cal é fornecida à

descritas, responda:

amostra gasosa anteriormente referida. Essa amostra

se expande, realizando um trabalho $\Delta W = 2,4 \times 10^3 \text{ J}$. A) O trabalho realizado pelo gás é maior, igual ou

DETERMINE a variação ΔU da energia interna do menor que zero? **JUSTIFIQUE** sua resposta.

gás nessa transformação. (Considere $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.) B) O calor absorvido pelo gás é maior, igual ou

C) **DETERMINE** a temperatura final da amostra gasosa menor que o calor cedido por ele? **JUSTIFIQUE**

após sofrer a transformação descrita no item anterior. sua resposta.

1ª Lei da Termodinâmica

3. A) **ESBOCE**, no quadro a seguir, o diagrama da pressão **02**. Em um laboratório de Termodinâmica, um estudante

em função da temperatura do gás para as etapas realiza o seguinte procedimento. Primeiro, ele aquece

descritas. o ar contido em um cilindro dotado de êmbolo móvel,

o conforme mostra a figura a seguir. Em seguida, o ar

retorna às mesmas condições iniciais, e o estudante

repete a experiência, provocando a mesma elevação

Pressão

de temperatura do ar, mas mantendo o seu volume

constante



0



0 Temperatura



B) **IDENTIFIQUE**, nesse mesmo diagrama, as etapas

A e B. **JUSTIFIQUE** sua resposta. O calor fornecido ao ar na primeira experiência foi

A) igual ao calor fornecido ao ar no segundo aquecimento,

SEÇÃO ENEM pois as elevações de temperaturas do gás foram iguais

nas duas experiências.

B) maior que o calor fornecido ao ar no segundo

01. aquecimento, pois o gás realizou um trabalho apenas

O IBGE dividiu a região Nordeste em quatro sub-regiões: na primeira experiência.

Zona da Mata, Agreste, Sertão e Meio Norte. O Sertão

localiza-se mais no interior, possuindo um clima semiárido. C) maior que o calor fornecido ao ar no segundo

aquecimento, pois a pressão do gás aumentou na

períodos de estiagem, e a vegetação típica é a caatinga. primeira experiência. **FÍSICA** As chuvas são irregulares e escassas, com constantes

O clima seco tem a ver com a existência do Planalto da D) menor que o calor fornecido ao ar no segundo

Borborema e da Chapada Diamantina, que atuam como aquecimento, pois a pressão do gás permaneceu

barreiras naturais para a penetração das massas de ar. constante na primeira experiência.

A figura a seguir ilustra o processo em que os ventos, E) menor que o calor fornecido ao ar no segundo

provenientes do Oceano Atlântico, perdem umidade, aquecimento, pois a energia interna do gás aumentou

chegando ao Sertão com baixo potencial pluviométrico. apenas na primeira experiência.

Fortes precipitações

GABARITO Ar seco

Ar úmido Sertão **Fixação**

Zona da Mata

Mar e Agreste 01. D

02.
C

03.
E

A explicação da perda de umidade, à medida que o ar sobe 04. D

pela encosta da montanha, é que a pressão atmosférica 05. A) A área sob o gráfico é numericamente igual

A) torna-se menor, causando um resfriamento adiabático ao trabalho realizado. Cada quadradinho do

do ar. gráfico tem área $0,2 \times 10^{-3} \times 10^5 = 20 \text{ J}$.

B) torna-se maior, causando um aquecimento adiabático Há 225 quadradinhos aproximadamente

do ar. (próximo à curva, juntamos dois ou mais

C) torna-se menor, causando uma expansão isotérmica quadradinhos para formar um). Assim,

do ar. $W = 225 \cdot 20 = 4,5 \times 10^3 \text{ J}$. Outra maneira de

D) torna-se maior, causando uma compressão isotérmica calcular a área seria considerar um trapézio

do ar. sob a curva. Nesse caso, temos $W = 5 \times 10^3 \text{ J}$.

E) permanece constante, causando um resfriamento B) $Q = W = 4,5 \times 10^3 \text{ J}$ (com $\Delta U = 0$).

isobárico do ar.

Editora Bernoulli **37**

Frente B Módulo 05

Propostos 16. A) 0 J

B) $T_A = 300 \text{ K}$, $T_B = 900 \text{ K}$ e $T_C = 600 \text{ K}$

01. B

C) $Q_{AB} = 3,00 \times 10^3 \text{ J}$ e $Q_{3CA} = -2,25 \times 10^3 \text{ J}$

02. A

17. A) $P_B = 0,25 \text{ atm}$

03. D

B) $T_B = 100 \text{ K}$

04. A

18. A) $U = 1,26 \times 10^4 \text{ J}$

05. C

B) $\Delta U = 6,0 \times 10^3 \text{ J}$

06. D

C) $T = 443 \text{ K}$

07. D

19.

1.

o

08. C

09. A Pressão B

A

10. B

Volume

11. A

Na etapa A, a pressão é mantida constante, e o

12. D

volume aumenta, como mostrado no diagrama.

13. B Na etapa B, o volume é mantido constante, e

a pressão aumenta, como também é mostrado

14. A

no diagrama.

15. 1. $P_0 h - h_{ed} = 2$. A) Menor que zero, pois o trabalho negativo
do gás

do processo C (compressão isobárica)

2. Menor. Ao puxar o êmbolo rapidamente,

tem módulo maior que o positivo no

o gás no interior do recipiente sofre uma

processo A (expansão isobárica).

transformação adiabática (não ocorrem

B) O calor absorvido é menor que o cedido,
trocas de calor com a vizinhança). De acordo

dando um calor líquido negativo.

com a 1ª Lei da Termodinâmica:

Ele deve ser negativo porque no ciclo,

$$\Delta U = \Delta Q - W; \text{ como } \Delta Q = 0 \text{ (adiabática)}$$

a variação de energia interna é zero, e o

$$\Delta U = -W \text{ calor líquido é igual ao trabalho líquido.}$$

Como o gás sofre uma expansão, o trabalho

3.
A)
o

é positivo ($W > 0$). Logo, $\Delta U < 0$. Como a

temperatura é diretamente proporcional Pressão

à energia interna ($T \propto U$), conclui-se que a B
temperatura do gás diminui (resfriamento).

De acordo com a lei geral dos gases perfeitos: A

$p_1 V_1 = p_2 V_2$ (estado 2: estado final do gás)
Temperatura T_1 T_2 B) Em A, ocorreu uma expansão
isobárica,

com $T_2 > T_1$ $V_2 > V_1$ $p_2 = p_1$ $\Rightarrow p_2 = p_1$ na qual a
temperatura aumentou. Em B, $T_2 < T_1$ $V_2 < V_1$
ocorreu uma transformação isovolumétrica, $T_2 < T_1$
 $\Rightarrow p_2 < p_1$; conclui-se que $p_2 < p_1$ com aumento
de pressão e consequente $T_2 < T_1$

aumento de temperatura.

Portanto, a pressão do gás, ao final do processo,

será menor que a pressão atmosférica. Logo, Seção

Enem para que a pressão do gás no interior do

recipiente se iguale à pressão atmosférica, 01. A

a altura h_d deverá ser maior que a altura h_e . 02. B

38 Coleção Estudo FÍSICA MÓDULO FRENTE 2 a Lei da Termodinâmica 06 B

A 1ª Lei da Termodinâmica é o Princípio da Conservação Porém, depois de aquecido, o gás não é capaz de voltar

da Energia aplicado a sistemas térmicos. No estudo dessa ao estado inicial por meio da realização de um trabalho.

lei, analisamos várias situações que envolvem balanços Em outras palavras, o gás quente não é capaz de girar as

de energia em diferentes processos. Entretanto, podemos pás e de levantar o peso. Apesar de ser viável do ponto de

pensar em alguns processos em que a energia se conserva, vista da conservação da energia, a experiência mostra que

mas que, mesmo assim, são impossíveis de ocorrer na esse ciclo jamais acontece. prática. Por exemplo, imagine um copo de leite quente

recebendo espontaneamente calor de um bloco de gelo. Trabalho Trabalho A 1ª Lei da Termodinâmica não proíbe esse processo.

De acordo com essa lei, o calor absorvido pelo leite seria Gás Polia convertido em energia interna, de forma que a energia estaria se conservando. Todavia, pela nossa experiência

diária, sabemos que o leite quente não pode receber calor Pás do gelo. De fato, o leite quente é que deve transferir calor Peso para o gelo. A 2ª Lei da Termodinâmica trata, justamente,

de processos naturalmente proibidos, ainda que a conservação da energia seja verificada. Calor Calor

Iniciaremos este módulo ilustrando a impossibilidade

de existir um motor térmico capaz de usar 100% do calor

recebido na geração de trabalho mecânico. Esse fato nos

levará ao enunciado da 2ª Lei da Termodinâmica

proposto por (a) Kelvin e Planck. Em seguida, discutiremos a impossibilidade

de existir um refrigerador capaz de transferir calor de
si *Figura 1: (a) Ciclo possível: conversão integral de trabalho em*

para um ambiente mais quente sem consumir
qualquer calor; (b) ciclo impossível: conversão integral de calor em
trabalho.

energia para funcionar. Esse fato nos levará ao
enunciado Note que, no sistema da figura 1b, existe
apenas uma

da 2ª Lei da Termodinâmica proposto por Clausius.
Por fim, fonte de calor, a chama de gás, que
denominaremos de

vamos explicar o que é um processo reversível. A
partir fonte quente. Com algumas adaptações, esse
sistema pode

o qual um motor e um refrigerador térmico funcionam
com quente. Contudo, a parte restante do calor não
pode ser um desempenho máximo. utilizada para
gerar trabalho. Ela deve ser rejeitada para desse
conceito, vamos apresentar o ciclo de Carnot, segundo
produzir trabalho usando parte do calor fornecido
pela fonte

um local onde a temperatura seja menor. Vamos
denominar

O MOTOR TÉRMICO esse local de fonte

fria. Existem muitos tipos de motores térmicos que geram trabalho ciclicamente. Todos operam

É perfeitamente possível existir um ciclo no qual o sistema entre duas fontes de calor, conforme está ilustrado no

absorve certa quantidade de energia na forma de trabalho e, esquema da figura 2. Em cada ciclo, o motor recebe uma

em seguida, libera a mesma quantidade de energia na quantidade de calor Q da fonte quente. Parte desse calor Q_1

forma de calor, de modo que o sistema volte ao estado transforma-se em um trabalho W , e o restante, o calor Q_2 ,

inicial. Entretanto, o ciclo inverso não é possível. Na prática, é rejeitado para a fonte fria. um sistema não pode receber calor e, em seguida, realizar

Fonte quente

um trabalho de igual valor, capaz de fazer o sistema voltar

ao estado inicial. Embora haja conservação da energia

nesses dois casos, apenas o primeiro ciclo é possível. O outro Q_2 é proibido pela natureza. Essa é a essência da 2ª Lei da Motor Termodinâmica.

W

A figura 1 exemplifica os dois ciclos descritos anteriormente.

Na figura 1a, o peso desce com velocidade constante e transfere um trabalho para o gás por meio das pás girantes. Em seguida, o gás, agora aquecido, transfere uma quantidade de calor para o meio ambiente, de valor Q_2 exatamente igual ao do trabalho recebido, de forma que o sistema retorne ao estado inicial, completando um ciclo.

Na outra situação, mostrada na figura 1b, o gás recebe calor. *Figura 2: Conversão de calor em trabalho em um motor térmico.*

Editora Bernoulli 39

Frente B Módulo 06

Em cada ciclo, não há variação na energia interna do sistema. Nesse motor, uma mistura de ar e combustível (em geral,

motor (sistema). Por isso, o calor líquido é igual ao trabalho realizado pelo motor. Usando a equação da 1ª Lei da termodinâmica, temos:

realizado pelo motor. Usando a equação da 1ª Lei da termodinâmica, temos:

Termodinâmica, temos:

(1º tempo do motor: admissão). A seguir, depois que o

$$\Delta U = 0 = (Q_1 + Q_2) - W_{12} \Rightarrow W = Q_1 + Q_2$$

pistão chega à posição mais baixa, a válvula de

admissão

O motor produz o trabalho W , absorve o calor Q se fecha e o pistão começa a subir, comprimindo a mistura e rejeita Q_1

o calor Q_2 . Assim, $W > 0$, $Q > 0$ e $Q_1 < 0$. Por exemplo, dentro do cilindro (2º tempo: compressão). Quando o

podemos imaginar um pequeno motor para o qual pistão chega à posição mais alta, uma centelha elétrica

$Q = 100 \text{ J}$, $W = 40 \text{ J}$ e $Q_1 = -60 \text{ J}$. Observe que, dos 100 J ocorre entre os terminais da vela. O combustível explode,

de calor absorvidos pelo motor, 40 J são transformados em e o pistão é fortemente empurrado para baixo (3º tempo:

trabalho, enquanto 60 J são rejeitados na forma de calor para

expansão). Quando o êmbolo chega à posição mais a fonte fria. Outra observação importante é que o rendimento

desse motor é igual a 40%, pois o trabalho gerado pelo baixa, a válvula de escape se abre e o pistão começa a

motor corresponde a 40% do calor que ele recebe da fonte subir, expulsando os gases provenientes da combustão

quente. De uma forma genérica, o rendimento térmico

(4º tempo: descarga). Terminada essa etapa do ciclo, de um motor, em valor absoluto, pode ser calculado pelo o motor pode iniciar um novo ciclo com a admissão da seguinte quociente: mistura de ar e combustível.

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

REFRIGERADOR
TÉRMICO

térmico igual a 100%, pois, nesse caso, todo o calor Q Considera-se que um refrigerador deva ser usado para seria. Um motor térmico não pode apresentar rendimento

convertido em trabalho, o que é impossível. Lord Kelvin e congelar certa massa de água que se encontra à temperatura

Max Planck resumiram essa proibição por meio daquilo que de 0 °C. Imagine que o refrigerador opere em um ciclo de

hoje é conhecido como o enunciado de Kelvin e Planck da duas etapas. Na primeira etapa, o refrigerador a 20 °C

2ª Lei da Termodinâmica: (que é a temperatura ambiente) recebe calor da água a

0 °C. Como resultado, a água congela, e o refrigerador

se aquece. Na segunda etapa do ciclo, o refrigerador
cede

Não existe um motor térmico cíclico cujo único resultado

calor para a vizinhança até que a sua temperatura
volte a

seja a absorção de calor de uma fonte e a conversão

ser 20 °C. Apesar de não violar a Lei da Conservação
da

integral desse calor em trabalho.

Energia, esse ciclo é impossível, pois, na primeira
etapa, a

água a 0 °C cede calor para o refrigerador a 20 °C. Da
nossa

Existem vários tipos de motores térmicos. Da
máquina de experiência diária, sabemos que um
corpo não pode ceder

Watt aos modernos motores dos aviões a jato, todos
operam calor para outro que esteja a uma temperatura
maior.

com um rendimento limitado pela 2ª Lei da
Termodinâmica.

O motor térmico mais famoso é o motor a explosão,
que Em cada ciclo de um refrigerador térmico real,

equipa quase todos os automóveis do mundo. A figura 3 mostra um motor a explosão, em que o movimento vai da fonte quente para o refrigerador e uma quantidade de calor Q_1 é transferida de uma fonte quente para o refrigerador e uma quantidade de calor Q_2 é transferida do refrigerador para uma fonte quente.

Além disso, o trabalho W é realizado pelo motor. Assim, o motor funciona como um refrigerador real.

disso, em cada ciclo, o motor realiza um trabalho W para poder funcionar. A figura 4

mostra os sentidos desses fluxos de energia.



mostra os sentidos desses fluxos de energia.

Vela

Válvula de

admissão Fonte quente Válvula de descarga

combustível Ar mais Câmara de combustão Q_1

Gases de descarga

Refrigerador

Pistão

Biela W

Virabrequim

Fonte fria

Figura 3: O motor a explosão. Figura 4: Transferência de calor em um refrigerador térmico.

40 Coleção Estudo

2ª Lei da Termodinâmica

Assim como em qualquer ciclo, a variação da energia Estrangulamento

interna do refrigerador em um ciclo completo também é nula.

Por isso, o calor líquido é igual ao trabalho recebido pelo

refrigerador. Aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica, temos: Fo Condensadornte fria

$$\Delta U = 0 = (Q_1 + Q_2) - W \quad W = Q_1 + Q_2$$

Evaporador 1 2 $\Rightarrow$ 1 2 nte quente Q₂ Q₁

O refrigerador absorve o trabalho W e o calor Q e rejeita Q_1

o calor Q_2 . Assim, $W < 0$, $Q_1 > 0$ e $Q_2 < 0$. Por exemplo, ^{2 1 2} Compressor podemos imaginar um refrigerador em que $Q_2 = 100 \text{ J}$, $W = -40 \text{ J}$ e $Q_1 = -140 \text{ J}$. O fato de Q_2 ser maior que o Q_1

trabalho W não viola a conservação da energia. O importante *Figura 5: Esquema de um refrigerador.*

é que a soma de Q_1 e W (em módulos) seja igual ao módulo Q_2 . Um fluido especial atravessa esses quatro componentes. ¹

de Q_2 . Esse balanço é o que garante a conservação da Na entrada do evaporador, o fluido é praticamente líquido, ²

energia no ciclo. e a temperatura é baixa (nas geladeiras, esse valor é cerca

de -20°C). A temperatura da fonte fria é baixa, porém um

Agora, vamos definir uma equação para medir a eficiência pouco maior que a do evaporador (cerca de -10°C no caso

de um refrigerador. Um refrigerador eficiente é aquele que do congelador de geladeiras). Assim, o fluido, ao atravessar

retira muito calor da fonte fria sem consumir muito trabalho. o evaporador, recebe o calor Q_2 , sofrendo vaporização ¹ Assim, o coeficiente de eficácia de um

refrigerador térmico isobárica. O compressor aspira e comprime o vapor

é dado por: proveniente do evaporador. Nessa etapa, o fluido recebe o

trabalho W . O vapor quente e pressurizado sai do compressor

$\beta = Q$ e entra no condensador. Nessa serpentina, o fluido cede o Q_1

W calor Q para a fonte quente, sofrendo uma transformação 2

isobárica. Por último, o líquido quente proveniente do

a eficiência do refrigerador será Por exemplo, se $Q = 100 \text{ J}$ e $W = 40 \text{ J}$ (em módulo), 1 condensador

atravessa o estrangulamento. Esse dispositivo

FÍSICA gera uma súbita redução na pressão do fluido, de forma $\beta = 100/40 = 2,5$.

Esse número tem a seguinte interpretação: para cada parecida com a queda de pressão em uma seringa com

unidade de trabalho consumida, o refrigerador retira 2,5 a extremidade fechada quando o êmbolo dessa é puxado

unidades de calor da fonte fria. Teoricamente, o coeficiente rapidamente. Em consequência, parte do líquido vaporiza,

causando um forte resfriamento do fluido. É por isso

β pode variar desde zero até valores bem elevados.
Porém,

β não pode ser infinito, pois isso implicaria um refrigerador. Em seguida, o ciclo recomeça. fluido entra no evaporador a uma temperatura muito baixa. com trabalho $W = 0$. Nesse caso, Q seria igual a Q , com ₁₂ o refrigerador transferindo calor da fonte fria para a fonte. O ciclo descrito anteriormente também pode ser usado para

aquecer um ambiente. Nesse caso, o interesse não é
manter

quente sem consumir trabalho. Como vimos, esse ciclo
é

o resfriamento da fonte fria, mas promover o
aquecimento

impossível. A proibição desse ciclo foi expressa por
Rudolph

da fonte quente, que pode ser a água de uma piscina
ou o

Clausius por meio do que atualmente é conhecido
como

interior de uma casa durante o inverno. A máquina
térmica,

enunciado de Clausius da 2ª Lei da Termodinâmica:
nesse caso, é chamada de bomba de calor, e o seu
coeficiente

de eficácia é definido em termos do calor Q (e não do calor Q_{21} como fizemos para o refrigerador), pela seguinte razão:



Não existe um refrigerador térmico cíclico cujo único $\beta' = Q / W$. O exercício resolvido 01, apresentado a seguir,



resultado seja a transferência de calor de um corpo 2



aborda o uso de uma bomba de calor para aquecer uma casa

para outro à temperatura maior. no inverno. Antes de acompanhar a sua resolução, procure

responder à seguinte pergunta:



O refrigerador térmico mais popular, sem dúvida, é aquele



que usa o ciclo de compressão de vapor, presente nas



PARA REFLETIR



geladeiras e *freezers* domésticos, nos aparelhos de ar



condicionado e nos balcões frigoríficos dos supermercados. Por que você pode aquecer uma cozinha



A figura 5 mostra os quatro componentes desse ciclo: duas deixando aberta a porta do forno quente,



mas não pode resfriá-la deixando aberta a porta

serpentinas (o evaporador e o condensador), um compressor

da geladeira?

e um tubo de seção estrangulada.

Editora Bernoulli 41

Frente B Módulo 06

EXERCÍCIO RESOLVIDO O CICLO DE CARNOT

01. No inverno, uma casa precisa ser aquecida por uma bomba. Se nenhum motor térmico aproveita 100% do calor a ele

de calor, de forma a manter a temperatura interna igual fornecido e se nenhum refrigerador funciona sem consumir

a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante todo o tempo. Estima-se uma perda de trabalho, então, que máquina térmica teria o melhor

calor de $0,8\text{ kW}$ da casa para o exterior, para cada grau desempenho? Uma máquina que opere segundo o ciclo de

de diferença entre a temperatura da casa e a temperatura Carnot, essa é a resposta. O ciclo de Carnot é uma sequência

externa. Considere que a temperatura ambiente média no teórica

de processos reversíveis (ideais). Um sistema sofre

inverno seja de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e que, nessa condição, a bomba um processo reversível quando o restabelecimento ao estado

de calor opere com um coeficiente de eficácia $\beta' = 3$. inicial não deixa vestígios na vizinhança. As três principais

A) Usando a figura 5 como referência, indicar onde é o causas de irreversibilidades são: o atrito, a expansão

interior e o exterior da casa. não resistida e a transferência de calor. É natural pensar

B) Calcular a potência do compressor da bomba de calor. que o atrito gere irreversibilidades. Um motor com pouca

lubrificação apresenta muitas perdas, e o seu rendimento

C) Explicar por que é mais econômico usar a bomba de

tende a ser baixo. A seguir, vamos discutir por que a

calor do que um aquecedor do tipo resistência elétrica

expansão não resistida e a transferência de calor são na calefação da casa.

processos irreversíveis, isto é, por que esses processos

Resolução:

comprometem a eficiência das máquinas térmicas.

A) O exterior da casa é a fonte fria, situada à direita

da máquina, enquanto o interior da casa é a fonte A figura 6 mostra um gás aprisionado em um

cilindro

quente, à esquerda da máquina. O evaporador recebe dotado de um êmbolo (estado 1, ilustrado na primeira figura).

o calor Q Retirando-se o peso de cima do prato, o gás se expande proveniente do exterior e o condensador 1

transfere o calor Q rapidamente e com pouca resistência, pois a parte do $= Q + W$ para o interior da casa, $2\ 1$

garantindo o seu aquecimento. cilindro, do outro lado do êmbolo, está evacuada. O trabalho

realizado pelo gás é muito pequeno, apenas o suficiente para

B) A taxa de perda de calor da casa para o exterior

e elevar o prato. No final, o volume do gás é maior, a pressão

é dada por:

é menor, e a temperatura é ligeiramente menor (estado 2,

$$(0,8 \text{ kW/}^{\circ}\text{C}).[20 - (-10)]^{\circ}\text{C} \Rightarrow \varphi = 24 \text{ kW}$$

ilustrado na segunda figura). Para o gás voltar ao estado 1,

Para a temperatura da casa não diminuir e se manter O peso deverá ser colocado novamente sobre o prato, de

sempre constante, uma taxa de transferência de calor $\dot{q}$,
forma que o êmbolo possa comprimir o gás.
Essa compressão

de mesmo módulo que a taxa de perda de calor, 2-1
demanda um trabalho realizado pela
vizinhança muito

de 24 kW, deve ser constantemente fornecida ao grande,
pois o deslocamento do prato ocorre com o
peso

interior da casa por meio da bomba de calor. Então, em
cima dele. Em outras palavras, a vizinhança
despende

podemos calcular a potência de acionamento do

mais trabalho para fazer o gás retornar ao estado
inicial

compressor (P) por meio da equação do coeficiente

do que aquele que ela recebe na primeira etapa do
ciclo

de eficácia da bomba de calor. Substituindo os dados

(vestígios na vizinhança). O gás voltou ao estado
inicial,

nessa equação, obtemos:

mas a vizinhança não. Por isso, uma expansão pouco

$\beta Q_2 \dot{q} \Delta t \dot{q}$ resistida é um processo
irreversível. $\dot{q} = \Rightarrow \beta' = W P t \Delta P$



$$\Rightarrow = 24 \text{ 3} \Rightarrow =$$

$$P \text{ 8 kW}$$

P

Gás

(estado 1) Vácuo

C) Se um aquecedor elétrico fosse utilizado para aquecer

a casa, a potência do aparelho deveria ser de 24 kW. Peso
Esse é exatamente o valor da taxa de consumo de
energia elétrica do sistema. No caso da bomba de
calor, a taxa de consumo de energia elétrica é 3 vezes



menor que 24 kW, pois o compressor é o único
componente da máquina passivo de ser acionado
por energia elétrica. O compressor consome uma (estado 2)
Gás potência de apenas 8 kW, uma vez que esse valor é
 $P = \text{Peso } \phi' / \beta'$, sendo $\beta = 3$. A soma de P e da taxa de
calor fornecida pelo exterior (16 kW) é igual à taxa de
calor

que a casa recebe (24 kW). *Figura 6: A expansão livre é um
processo irreversível.*

A expansão de um gás é um processo reversível apenas transfere o calor Q para a fonte fria, cuja temperatura é T_2

quando as pressões em cada lado do êmbolo diferem de um por meio de um processo isotérmico, sendo a temperatura

infinitésimo. Nos motores reais, isso não ocorre. Por exemplo, do fluido infinitesimalmente maior do que T_2 . O fluido muda

em um motor automotivo, logo após a explosão do combustível, a sua temperatura de T_1 para T_2 e vice-versa por meio de T_1 a diferença de pressão ΔP entre a câmara de combustão e o processos adiabáticos, alternados com os dois processos

exterior do cilindro é cerca de 20 atm. Esse valor é enorme e, isotérmicos citados. por isso, ele gera muitas irreversibilidades e uma redução no

rendimento térmico do motor. Por outro lado, é justamente A figura 7 mostra um diagrama de pressão *versus* volume

o alto valor de para um motor de Carnot, que utiliza um gás ideal como ΔP que proporciona mais rotação ao motor e

mais velocidade ao carro. fluido de trabalho. Observe que a absorção do calor Q ocorre

durante a expansão isotérmica a-b, enquanto a rejeição do

Para discutir a irreversibilidade gerada pela transferência de calor Q ocorre durante a compressão isotérmica c-d. Observe ₂

de calor, vamos considerar um exemplo simples. Imagine um recipiente hermético contendo um gás a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (estado 1). por meio de uma expansão adiabática b-c e aumenta a

Em seguida, o gás transfere calor para o ambiente até que a temperatura novamente para T por meio de uma compressão ₁ sua temperatura atinja $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (estado 2). Para fazer o gás voltar adiabática d-a. Observe ainda que o ciclo ocorre no sentido

ao estado 1, vamos usar uma bomba de calor, que deverá horário, característico de um motor. A área dentro do ciclo

transferir calor do ambiente para o gás. Ora, essa máquina, é numericamente igual ao trabalho realizado pelo motor.

como sabemos, consumirá certa quantidade de trabalho para Se o mesmo ciclo fosse percorrido no sentido anti-horário,

executar tal tarefa. Esse trabalho representa um vestígio esse trabalho seria a energia consumida pela máquina, que,

na vizinhança. Portanto, um processo de transferência de nesse caso, seria um refrigerador de Carnot. calor é irreversível.

A transferência de calor é reversível apenas quando

processo ocorre devido a uma diferença infinitesimal de a temperatura. No exemplo anterior, se a temperatura do Pressã gás fosse um infinitésimo de grau acima da temperatura

ambiente, a bomba de calor praticamente não consumiria Q_1 trabalho para restabelecer o seu estado inicial. Você pode pensar, então, que seria interessante usar uma serpentina T_1 de calefação com o fluido apenas ligeiramente mais quente d do que o ambiente a ser aquecido. Apesar de o processo Q_2 c T_2

ser quase reversível, esse equipamento não seria viável na Volume prática. A pequena diferença entre as temperaturas não *Figura 7: Ciclo de Carnot para um motor com gás ideal.* seria suficiente para garantir um fluxo de calor adequado

Existem dois teoremas importantes relacionados ao ciclo

para o aquecimento. Para resolver o problema, a serpentina

de Carnot. O primeiro afirma que o rendimento de um motor

deveria ter alguns quilômetros de comprimento. Além do

de Carnot (ou o coeficiente de eficácia de um refrigerador

preço proibitivo, essa serpentina não caberia no recinto a

de Carnot) independe da substância de trabalho. O
outro

ser aquecido.

teorema afirma que esse rendimento depende apenas

Agora, estamos prontos para entender o ciclo de Carnot. das temperaturas T_1 e T_2 das fontes de calor.

Não vamos _{1 2}

Uma máquina de Carnot (motor ou refrigerador) possui demonstrar esses teoremas, mas vamos usá-los para

desempenho máximo porque ela não contém os três fatores deduzir a equação do rendimento de um motor de Carnot.

de irreversibilidades que discutimos nos últimos parágrafos. Como esse rendimento é função apenas de T_1 e de T_2 , _{1 2} Em uma máquina de Carnot, também chamada de máquina e lembrando que o rendimento é dado por $\eta = W/Q_1$ e que ₁ reversível, não há atrito entre as partes móveis, e os êmbolos $W = Q_1 - Q_2$, podemos escrever a seguinte expressão: _{1 2}

infinitesimais de pressão. Além disso, as trocas de calor Q_1 e Q_2 se deslocam com extrema lentidão, movidos por diferenças

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - f(T_1, T_2)_{1 2}$$

entre a máquina e as fontes térmicas ocorrem por meio de Q_1 diferenças infinitesimais de temperatura.

A parcela $f(T_1, T_2)$ é função das temperaturas das fontes _{1 2}

No caso de um motor de Carnot, a fonte quente, cuja de calor. Existem várias relações funcionais que podem ser

temperatura é T_1 , cede o calor Q_1 para o fluido do motor, cuja _{1 1} escolhidas para representar $f(T_1, T_2)$. Lord Kelvin sugeriu a _{1 2} temperatura é infinitesimalmente menor do que T_1 . Por isso, ₁ seguinte relação: o fluido recebe calor por meio de um processo isotérmico

à temperatura T_2 . De forma semelhante, o fluido do motor ₁ $f(T_1, T_2) = Q_1 / Q_2 = T_1 / T_2$ _{1 2 2 1 2 1}

Editora Bernoulli 43

Frente B Módulo 06

Substituindo essa expressão na equação do rendimento

EXERCÍCIO RESOLVIDO

do motor, obtemos a seguinte relação:



h T **02.** Um comerciante de geladeiras e *freezers* garante que $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ os seus produtos apresentam um coeficiente de eficácia

igual a 3, isto é, para cada unidade de energia fornecida

Nessa equação, as temperaturas T_1 e T_2 devem ser expressas ao compressor, o equipamento retira o triplo de calor na escala Kelvin. Essa equação mostra que um motor de Carnot

tem maior desempenho à medida que a temperatura da fonte quente aumenta e a temperatura da fonte fria

diminui. Veja que, quando T_2 tende para zero kelvin, *Resolução:* η tende para 1. Como o zero absoluto é inatingível, mesmo um

O desempenho de um refrigerador de Carnot pode servir motor de Carnot não pode apresentar um rendimento de

de referência para avaliarmos o desempenho de uma 100%. De fato, Lord Kelvin desenvolveu a escala absoluta

máquina real operando entre as mesmas temperaturas.

de temperatura a partir dessa ideia.

Assim, para avaliar a afirmativa do comerciante,

O motor (ou refrigerador) de Carnot é uma máquina
vamos deduzir a equação do coeficiente de eficácia de um

apenas teórica e que não pode ser construída na
prática. refrigerador de Carnot. A equação genérica do coeficiente

Apesar disso, o seu rendimento é uma referência para
os de eficácia, válida para qualquer ciclo, é a seguinte:

projetistas. Por exemplo, imagine que um motor deva
ser

projetado usando como fonte quente a água em
ebulição a $Q_1 = 100^\circ\text{C}$ ($T_1 = 373\text{ K}$) e, como fonte fria, o gelo fundente a

0°C ($T_2 = 273\text{ K}$). Nessas condições, o rendimento de
um motor de Carnot seria de: Para uma máquina de Carnot, $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$. Substituindo
essa razão na equação anterior, obtemos o coeficiente

h T de eficácia para um refrigerador de Carnot em
função de T_1 e T_2 :
$$\beta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273}{373} = 0,27$$

este. Se o motor for bem projetado, o seu rendimento
poderá ser maior. É claro que o motor real terá um rendimento
menor que o de Carnot: $\beta < 1 - (T_2/T_1)$

ser a metade do rendimento de Carnot, ou um pouco mais. Segundo essa equação, β diminui à medida que a

Devemos tomar cuidado para não achar que o rendimento temperatura da fonte quente, T_1 , aumenta. Como T_1 é a T_2 de um motor de Carnot é sempre elevado (27%, como nesse temperatura do recinto onde o refrigerador se encontra,

exemplo, não é um rendimento alto). O motor de Carnot concluímos que um refrigerador de Carnot (e também

apenas proporciona o maior rendimento possível entre duas um refrigerador real) apresenta um desempenho menor

fontes de temperaturas T_1 e T_2 no verão e maior no inverno.

A relação $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$ também pode ser aplicada na dedução β Ainda segundo a equação anterior, β diminui à medida

da equação do coeficiente de eficácia de um refrigerador (ou que a temperatura da fonte fria, T_2 , diminui. Como T_2 de uma bomba de calor). Abordaremos essa dedução no é a temperatura do interior do refrigerador, e como o

exercício resolvido 02. Antes de acompanhar a resolução desse interior de um *freezer* é mais frio do que o interior de uma

problema, procure responder à seguinte questão:

geladeira, concluímos que o desempenho de um *freezer* de Carnot é menor do que o de uma geladeira de Carnot



no mesmo recinto (T fixo). Uma geladeira e um *freezer* ² real também apresentam o mesmo comportamento.



PARA REFLETIR



Sobre a afirmativa do comerciante, concluímos que ela



Que fonte quente produziria maior



rendimento a um motor térmico: vapor de não é verdadeira, pois o desempenho de um refrigerador



água ou água líquida, ambos a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 1 atm ? depende tanto da temperatura ambiente quanto da sua



temperatura
interna.

44 Coleção Estudo

2ª Lei da Termodinâmica

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO 03. (PUC-

Campinas-SP) O esquema a seguir representa trocas de calor e realização de trabalho em uma máquina térmica.

Os valores de T_1 e Q_2 não foram indicados, mas deverão

01. ser calculados durante a solução deste exercício. (UFMS-RS)

Considere as afirmações:

I. É impossível construir uma máquina térmica que, Fonte quente

operando em ciclos, retire energia na forma de calor $T_1 =$

$$Q_1 = 4\,000\text{ J}$$

de uma fonte, transformando-a integralmente em

trabalho. $W = 800\text{ J}$

II. Refrigeradores são dispositivos que transferem $Q_2 =$

energia na forma de calor de um sistema de menor $T_2 = 300 \text{ K}$

temperatura para outro de maior temperatura. Fonte fria

III. A energia, na forma de calor, não passa Considerando os dados indicados no esquema, se essa

espontaneamente de um corpo de menor temperatura

máquina operasse segundo um ciclo de Carnot,

para outro de maior temperatura. a temperatura T_1 , da fonte quente, seria, em Kelvins,

Está(ão) **CORRETA(S)** igual a

A) A) 375. C) 525. E) 1 500. apenas I.

B) apenas II. B) 400. D) 1 200.

C) apenas I e III.

04. (UFV-MG–2009) A figura a seguir representa um ciclo

D) apenas II e III.

de operação de uma máquina térmica reversível com

E) I, II e III. rendimento R . Suponha que o funcionamento da máquina

seja invertido, de modo que ela seja transformada em um

FÍSICA

02. (Unimontes-MG–2006) Define-se o rendimento r de uma refrigerador. Sabendo que a eficiência de um refrigerador

máquina térmica como sendo $r = (W/Q_1)$, em que, em cada é Q/W ,

em função de R , essa eficiência será η

ciclo, Q_1 é o calor absorvido, e W é o trabalho realizado.

Fonte quente

Considere uma máquina que segue o ciclo descrito pelo

diagrama a seguir. Sabendo que ela absorve 4×10^4 J de

Q_1

calor por ciclo, seu rendimento η é de

W

$P (10^5 \text{ N/m}^2)$

4

Q_2

Fonte fria

A) $(R - 1)/R$.

B)

$1/R$

R.

C) $(1 - R)/R$.

D) $(1 + R)/R$.

2 05. (UFV-MG–2009) Uma máquina térmica, operando entre

duas fontes quente e fria, às temperaturas de 327°C e

27°C , respectivamente, realiza um trabalho de 200 J,

$0,10$ $0,20$ V (m^3)

ao absorver $1\,000$ J da fonte quente. Caso essa máquina

- A) 15%. passasse a operar segundo o ciclo de Carnot, entre as
- B) 50%. mesmas fontes, seu rendimento seria
- C) 25%. A) 100%. C) 20%.
- D) 75%. B) 50%. D) 0%.

Editora Bernoulli 45

Frente B Módulo 06

EXERCÍCIOS PROPOSTOS 03. (UFRN–2010) A transformação termodinâmica $b \rightarrow c$, ilustrada no diagrama PV da figura seguinte, constitui

um dos processos do ciclo Otto, utilizado em motores

01. (UEPB–2010) de combustão interna de automóveis a gasolina.

A Revolução Industrial consistiu em um conjunto de No diagrama, P representa a pressão na câmara de

mudanças tecnológicas com profundo impacto no combustão e V, o volume da câmara.

processo produtivo em nível econômico e social. Iniciada

P

na Inglaterra em meados do século XVIII, expandiu-se C

pelo mundo a partir do século XIX. James Hargreaves,

1764, na Grã-Bretanha, inventa a fiadora “spinning b

Jenny”, uma máquina de fiar rotativa que permitia a um

único artesão fiar oito fios de uma só vez; James Watt,

1768, inventa a máquina a vapor; Gottlieb Daimler, 1885,

inventa um motor a explosão, etc. Esse processo ocorre quando, no instante da queima da

Acerca do assunto tratado no texto em relação às mistura ar-gasolina contida na câmara de combustão,

máquinas térmicas, de acordo com a Segunda Lei da fornece-se calor ao sistema, produzindo-se

Termodinâmica, podemos afirmar: A) aumento da pressão interna, com variação do volume

I. Nenhuma máquina térmica operando em ciclos da câmara.

pode retirar calor de uma fonte e transformá-lo B) diminuição da pressão interna, sem variação do

integralmente em trabalho. volume da câmara.

II. A Segunda Lei da Termodinâmica se aplica aos C) diminuição da pressão interna, com variação do

refrigeradores, porque estes transferem calor da fonte volume da câmara.

fria para a fonte quente. D) aumento da pressão interna, sem variação do volume

III. O rendimento de uma máquina térmica que opera em da câmara.

ciclos pode ser de 100%.

Após a análise feita, verifica-se que é(são) **CORRETA(S) 04.** (PUC Minas) A respeito do que faz um refrigerador, pode-se

dizer
que

apena(s) a(s) proposição(ões)

A)
produz

frio.

A) II e III.

B)
anula
o
calor.

B) II.

C) converte calor em frio.

C) III.

D) remove calor de uma região e o transfere a outra.

D) I.

E) I e II. **05.** (FGV-SP) O diagrama relaciona valores de pressão e

volume que ocorrem em determinada máquina térmica.

02. (PUC Minas–2010 / Adaptado) Considere dois veículos P de mesma massa, com motores de mesma potência: um B 1 equipado com motor elétrico com uma eficiência de 90%,

e o outro equipado com motor a combustão, com uma eficiência de 25%. Admitindo-se ambos os veículos com

2

uma massa de 500 kg, partindo do repouso, em uma A estrada plana e retilínea, atingindo uma velocidade de

36 km/h, é **CORRETO** afirmar que a quantidade de calor V

rejeitada pelos motores foi, respectivamente, de De sua análise, pode-se inferir que

A) $4,0 \times 10^3$ J e $3,5 \times 10^3$ J. se a linha 2 fosse uma reta ligando os pontos A e B, ela representaria uma expansão isotérmica do gás.

B) $1,5 \times 10^3$ J e $2,5 \times 10^3$ J.

B) a área compreendida entre as duas curvas representa

C) $2,8 \times 10^4$ J e $4,5 \times 10^5$ J. o trabalho realizado sobre o gás no decorrer de um

D) $2,8 \times 10^3$ ciclo completo. J e $7,5 \times 10^4$ J.

46 Coleção Estudo

2ª Lei da Termodinâmica

C) a área formada imediatamente abaixo da linha

08. (UFLA-MG-2006) Um engenheiro construiu uma máquina

indicada por 1 e o eixo V equivale, numericamente, térmica que, operando em ciclos, retira $20\,000$ J/s de um

ao trabalho útil realizado pelo gás em um ciclo. reservatório quente a $T_1 = 1\,600$ K e rejeita $4\,000$ J/s

D) o ciclo representa os sucessivos valores de pressão e para um reservatório frio a $T = 400$ K. A equipe técnica

volume que ocorrem em uma máquina, podendo ser, de uma empresa encarregada de analisar o projeto dessa

por exemplo, uma locomotiva a vapor. máquina térmica apresentou as seguintes conclusões:

E) no ponto indicado por A, o mecanismo apresenta I. O rendimento teórico da máquina é 80%.

grande capacidade de realização de trabalho devido II. A potência teórica da referida máquina é 16 000 W.

aos valores de pressão e volume que se associam a

III. Como o rendimento teórico de uma máquina térmica esse ponto.

de Carnot operando nas condições anteriormente

06. especificadas é 75%, a máquina em questão é

(UFC) A eficiência de uma máquina de Carnot que opera

teoricamente inviável.

entre a fonte de temperatura alta (T_1) e a fonte de

temperatura baixa (T_2). Assinale a alternativa **CORRETA.**) é dada pela expressão 2

A) Somente as conclusões I e II são corretas.

$h = 1 - (T_2/T_1)$, B) As conclusões I, II e III estão corretas.

em que T_1 e T_2 são temperaturas em Kelvin. 1 2 C) Somente as conclusões II e III são corretas. e T_1 e T_2 são medidas na escala absoluta ou Kelvin.

D) Somente as conclusões I e III são corretas.

Suponha que você dispõe de uma máquina dessas com

uma eficiência E) Somente a conclusão II é correta. $h = 30\%$. Se você dobrar o valor da

temperatura da fonte quente, a eficiência da máquina **09.** (AFA-SP) No processo $A \rightarrow B$, indicado no ciclo de Carnot

passará a ser igual a da figura, o calor é

A) 40%.

P

B) 45%.

C) 50%. A **FÍSICA**

D) 60%.

B

E) 65%.

07. D C T (UFLA-MG–2009) O esquema simplificado a seguir T_{12}

representa um motor térmico. Considere o calor absorvido Q_1

do reservatório quente $Q_1 = 4 \times 10^4$ joules a cada segundo, A) admitido.

e o rendimento desse motor igual a 40% do rendimento B) rejeitado.

de um motor de Carnot operando entre os mesmos C) admitido e rejeitado.

reservatórios T_1 D) nem admitido e nem rejeitado. e T_2 .

$T_1 = 1\,200\text{ K}$ **10.** (UFBA) Sobre as leis da Termodinâmica, pode-se afirmar:

Q 01. A Primeira Lei expressa a conservação da energia. 1

02. A Primeira Lei garante que não há fluxo de calor entre

dois corpos à mesma temperatura.

M W

04. A Segunda Lei implica que o calor não pode fluir espontaneamente de um corpo frio para um corpo Q_2 quente.

T 08. A Segunda Lei implica que é impossível a conversão $= 300\text{ K}$ total de qualquer quantidade de calor em energia

Pode-se afirmar que a potência do referido motor é mecânica, em qualquer máquina cíclica.

- A) 30 kW. 16. A Segunda Lei implica que dois gases, uma vez
- B) 18 kW. misturados, têm grande probabilidade de voltar a
- C) 12 kW. separar-se espontaneamente.
- D) 16 kW. Soma ()

Editora Bernoulli 47

Frente B Módulo 06

11. (UFMG–2010) Uma máquina térmica é constituída de um Sendo $T_{\text{mín.}}$ e $T_{\text{máx.}}$ as temperaturas absolutas das fontes

cilindro, cheio de gás, que tem um êmbolo móvel. Durante quente e fria, respectivamente, ambas expressas em

o funcionamento dessa máquina, o gás é submetido Kelvin. Considere o calor específico da água:

a um processo cíclico, que o leva de um estado K a

$$c = 4\,000 \text{ J}/(\text{kg}^\circ\text{C})$$

outro estado L e, depois, de volta ao estado K, e assim

sucessivamente, como representado no diagrama pressão A)

DETERMINE a potência gerada por uma usina cuja

versus volume, mostrado na figura a seguir. eficiência é metade da máxima teórica.

B) **DETERMINE** o aumento de temperatura da água do rio ao passar pela usina.

Pressão

L SEÇÃO ENEM

K **01.** (Enem–2002) O diagrama mostra a utilização das

diferentes fontes de energia no cenário mundial.

Embora aproximadamente um terço de toda energia

primária seja orientada à produção de eletricidade,

apenas 10% do total são obtidos em forma de energia

Volume

elétrica
útil.

Considerando essas informações, responda e **JUSTIFIQUE**

sua resposta:

90%

A) Em qual dos dois estados, K ou L, a temperatura do

gás é maior? 80%

B) Em um ciclo completo, em que o gás sai do estado K e 70% volta ao mesmo estado, essa máquina realiza trabalho líquido? 60%

C) Tendo-se em vista que se trata de um sistema Energia Primária 50% ideal, é possível converter em trabalho todo o calor fornecido a essa máquina? 40%

30% Calor

12. perdido (FAAP-SP) Queremos congelar 200 kg de água a 0°C ,
Energia

para produção 20% na

utilizando um refrigerador cuja eficiência seja igual a produção de
eletricidade

10%

$1/7$ da eficiência do refrigerador ideal de Carnot. O calor Energia
latente de fusão do gelo é 80 cal/g . Admitindo-se que a elétrica útil
temperatura da sala em que se encontra o refrigerador A pouca
eficiência do processo de produção de eletricidade

permaneça invariável em 39°C , **DETERMINE** o trabalho deve-se,
sobretudo, ao fato de as usinas

necessário para o referido congelamento. Considere o A) nucleares
utilizarem processos de aquecimento,

calor latente de fusão do gelo $L = 80\text{ cal/g}$. nos quais as
temperaturas atingem milhões de graus

Celsius, favorecendo perdas por fissão nuclear.

13. (Unicamp-SP) Com a instalação do gasoduto B) termelétricas
utilizarem processos de aquecimento a

Brasil-Bolívia, a quota de participação do gás baixas temperaturas,

apenas da ordem de centenas

natural na geração de energia elétrica no Brasil será de graus Celsius, o que impede a queima total dos

significativamente ampliada. Ao se queimar 1,0 kg de gás combustíveis fósseis.

natural, obtém-se $5,0 \times 10^7$ J de calor, parte do qual pode C) hidrelétricas terem o aproveitamento energético

ser convertido em trabalho em uma usina termoeletrica. baixo, uma vez que parte da água em queda não

Considere uma usina queimando 7 200 quilogramas de atinge as pás das turbinas que acionam os geradores

gás natural por hora, a uma temperatura de 1 227 °C. elétricos.

O calor não aproveitado na produção de trabalho é D) nucleares e termelétricas utilizarem processos de

cedido para um rio de vazão 5 000 L/s, cujas águas transformação de calor em trabalho útil, no qual as

estão inicialmente a 27 °C. A maior eficiência teórica da perdas de calor são sempre bastante elevadas.

conversão de calor em trabalho é dada por: E) termelétricas e hidrelétricas serem capazes de utilizar

diretamente o calor obtido do combustível para

$$h = 1 - (T_{\text{mín.}} / T_{\text{máx.}})$$
 aquecer a água, sem perda para o meio.

48 Coleção Estudo

2ª Lei da Termodinâmica

02. (Enem–2009) A invenção da geladeira proporcionou uma 03.

(Enem–2009) O esquema mostra um diagrama de bloco

revolução no aproveitamento dos alimentos, ao permitir de uma estação geradora de eletricidade abastecida por

que fossem armazenados e transportados por longos combustível fóssil.

períodos. A figura apresentada ilustra o processo cíclico de funcionamento de uma geladeira, em que um gás no Gases da interior de uma tubulação é forçado a circular entre o combustão congelador e a parte externa da geladeira. É por meio dos processos de compressão, que ocorre na parte externa, Vapor e de expansão, que ocorre na parte interna, que o gás Eletricidade Turbina Gerador proporciona a troca de calor entre o interior e o exterior da geladeira.

Caldeira

H
O₂



Saída H₂O quente

Condensador

Compartimento
do congelador

Entrada H O₂

fria

Líquido

Bomba **FÍSICA**

Combustível

+

Compressor ar

Lago

Válvula de
expansão

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*.

São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. (Adaptação).

Se fosse necessário melhorar o rendimento dessa usina, que

Nos processos de transformação de energia envolvidos forneceria
eletricidade para abastecer uma cidade, qual das

no funcionamento da geladeira, seguintes ações poderia resultar em
alguma economia de

A) a expansão do gás é um processo que cede a energia energia, sem
afetar a capacidade de geração da usina?

necessária ao resfriamento da parte interna da

geladeira. A) Reduzir a quantidade de combustível fornecido à usina

B) o calor flui de forma não espontânea da parte mais para ser queimado.

fria, no interior, para a mais quente, no exterior da B) Reduzir o volume de água do lago que circula no

geladeira.

condensador de vapor.

C) a quantidade de calor cedida ao meio externo é igual

ao calor retirado da geladeira. C) Reduzir o tamanho da bomba usada para devolver a

D) a eficiência é tanto maior quanto menos isolado água líquida à caldeira.

termicamente do ambiente externo for o seu D) Melhorar a capacidade dos dutos com vapor

compartimento interno.

conduzirem calor para o ambiente.

E) a energia retirada do interior pode ser devolvida à

geladeira abrindo-se a sua porta, o que reduz seu E) Usar o calor liberado com os gases pela chaminé para

consumo de energia. mover um outro gerador.

Editora Bernoulli 49

Frente B Módulo 06

04. (Enem–2000) O esquema a seguir mostra, em termos de

potência (energia/tempo), aproximadamente, o fluxo de
GABARITO
energia, a partir de uma certa quantidade de combustível

vinda do tanque de gasolina, em um carro viajando com
Fixação

velocidade constante.

Energia 01. E

dos hidrocarbonetos

não queimados, Luzes, energia ventilador, 02. B

térmica dos gerador,

gases do direção, 03. A escape e bomba

Evaporação ar ambiente etc. térmica 04. C transferidas ao hidráulica,
Energia

1kW 56,8 kW 2,2 kW 3 kW

05.
B

Propos

Do tanque

de gasolina 01. E

72 kW 71 kW Rodas

14,2 kW 12 kW 9 kW 02. D

Motor de Transmissão

O esquema mostra que, na queima da gasolina, no motor 04. D
de combustão, uma parte considerável de sua energia é
dissipada. Essa perda é da ordem de 05. B

A) 80%. B) 70%. C) 50%. D) 30%. E) 20%. 06. E

05. 07. C (Enem–2000) A partir do esquema são feitas as seguintes
afirmações: 08. B

09.
A

Vapor

10.
Soma
=
13

Gerador

11. A) $T_L > T_K$, pois o produto PV (que, para um gás
ideal, é proporcional a T) é maior no estado L.

Água Turbina

B) Sim, pois o trabalho positivo realizado pelo

Pilhas gás (área sob a curva do gráfico P *versus* V

nucleares Condensador na expansão) é maior que o trabalho
negativo

Bomba-d'água realizado sobre o gás (área sob a curva
do

Bomba-d'água gráfico na
compressão).

C) Não, pois, de acordo com a 2ª Lei da Termodinâmica, não é possível existir um motor capaz de realizar a conversão integral do calor fornecido em trabalho.

$$12. W = 1,6 \times 10^7 \text{ cal}$$

I. a energia liberada na reação é usada para ferver a

$$\begin{aligned} 13. \\ A) \\ P \\ = \\ 40 \\ \text{MW} \end{aligned}$$

água que, como vapor a alta pressão, aciona a turbina.

$$\begin{aligned} B) \\ \Delta \\ T \\ = \\ 3 \\ ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

II. a turbina, que adquire uma energia cinética de

rotação, é acoplada
mecanicamente ao gerador
para Seção Enem produção de energia
elétrica.

III. a água depois de passar pela turbina é pré-aquecida 01. D
no condensador e bombeada de volta ao reator.

Dentre as afirmações anteriores, somente está(ão)
correta(s) 03. E

A) I. D) I e II. 04. A

B) II. E) II e III. 05. D

C) III.

50 Coleção Estudo FÍSICA MÓDULO FRENTE Lentes esféricas 05 C

Uma lente, seja de vidro ou de qualquer outro material As três primeiras lentes mostradas têm bordas muito finas

transparente, tem a função de refratar a luz, de modo a e podem quebrar com facilidade. Por isso, elas são aparadas

formar imagens dos objetos. Elas são usadas em dispositivos nas bordas, de modo que tenham uma maior resistência

ópticos, tais como o olho humano, a máquina fotográfica, mecânica no contato com a armação dos óculos. Assim,

os óculos, o microscópio e muitos outros.

é importante você olhar a borda comparada com a
parte

As figuras a seguir mostram alguns óculos. Observe que central. Veja a seguir.

o formato das lentes, vistas de frente, depende apenas da

armação na qual são usadas.

Observe que a parte central

continua mais “grossa”



que a borda da lente.

XC

S

Vamos analisar o comportamento da luz que chega a

Imagine uma lente vista de frente. Ela possui uma borda e

uma lente. Veja as figuras a seguir. Em todas elas, a luz

uma parte central. A figura a seguir mostra esses elementos.

A parte central da lente está em destaque colorido. A borda incide sobre a lente perpendicularmente à sua face e,

da lente é mostrada na figura pela linha preta. por isso, penetra na lente sem sofrer desvio. Nas figuras,

N representa a reta normal à superfície da lente no

Parte lente central Borda da em que a luz sai para o meio externo. As duas primeiras

lentes (1 e 2) estão imersas no ar, que apresenta índice de refração menor que o da lente. Observe que a luz deve se

Se qualquer uma das lentes das figuras anteriores for vista afastar da normal (N) ao passar da lente para o ar. Dessa

de perfil, ou seja, se ela for colocada perpendicularmente a forma, a lente 1 converge os raios de luz, enquanto a lente 2

esta página, o formato das suas faces vai definir o tipo de os diverge. Assim, podemos concluir que, quando imersas

lente em questão. Cada face de uma lente, quando olhada em substâncias de índice de refração **menor** que os seus,

pela parte externa, pode ser plana, côncava ou convexa. as lentes de bordas mais finas do que a parte central são

Veja a seguir algumas lentes vistas de perfil e seus respectivos

convergentes, e as lentes de bordas mais largas que a nomes. A borda de cada lente está em destaque, com

linhas

parte central são **divergentes**.

vermelhas.

1 2 N

N

N

Biconvexa Plano-convexa Menisco n N n_{arar}

convergente

3 N 4

N

N

Bicôncava Plano-côncava Menisco n substância n N
divergente substância

Frente C Módulo 05

Nas figuras 3 e 4, as lentes estão mergulhadas numa
ELEMENTOS PRINCIPAIS

substância que apresenta índice de refração maior que o da **DE UMA LENTE** lente ($n > n$). Dessa forma, a luz vai se aproximar subst. lente

da normal ao sair da lente para o meio externo. Olhe, com atenção, as figuras 3 e 4 e veja que as lentes inverteram Uma lente apresenta dois focos (F e F), um de cada lado _{1 2}

da lente e sempre equidistantes dela. Isso significa que as suas características em relação a seu uso em meios cujos

qualquer lente esférica delgada pode ser usada de qualquer

índices de refração são menores que o da lente. Aquela de

um dos seus lados. Vamos convencionar que o foco 1 está

borda mais fina (3) está funcionando como lente divergente, sempre do lado em que a luz incide na lente. O ponto central

e a de borda mais espessa (4) está convergindo a luz. Veja da lente é chamado de centro óptico e é representado pela

no quadro a seguir o resumo do comportamento das lentes. letra O. A distância do foco ao centro óptico é a distância

focal da lente (f). A linha que une os focos e o centro óptico

Lentes de Índices de Funcionam como da lente é o seu eixo principal. Comprove, pelas figuras a

bordas refração lentes seguir, que os focos (e a distância focal) independem da

n região em que a luz incide sobre a lente. $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$
Convergentes

FINAS

$n_{\text{meio}} > n_{\text{lente}}$ **Divergentes**

GROSSAS $n > n$ **Divergentes** $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$ F F F F F_1 O O_2 O_1
 $n > n$ **Convergentes** $n_{\text{meio}} > n_{\text{lente}}$

Um caso particular a ser considerado ocorre se a lente e o

meio em torno dela apresentam o mesmo índice de refração f f f f e ambos são transparentes. Nesse caso, não haverá refração

quando a luz entra ou sai da lente (não existe mudança na

velocidade da luz). Assim, os raios vão atravessar a lente

sem sofrer qualquer desvio, e não é possível distinguir a

lente do meio em que foi colocada. Dessa forma, ela ficará

invisível dentro da substância. F F F F_{1 2 21} O O

Em nosso estudo, exceto quando for explicitado, vamos

considerar os seguintes aspectos:

1. f f f f A lente é mais refringente que o meio no qual ela

está imersa ($n > n$); lente meio

Observe que os focos da lente convergente são os pontos

2. As lentes devem ter pequena espessura (delgadas). para os quais convergem os raios que incidem sobre a lente

Por esse motivo, nas figuras que se seguem, vamos paralelamente ao eixo óptico desta. Por isso, os focos das lentes

traçar os raios como se eles refratassem, apenas uma convergentes são chamados de focos reais. Na lente divergente,

vez, no meio da lente; os prolongamentos desses

raios refratados pela lente definem

os focos e, assim, estes são considerados virtuais.

3. A luz que chega às lentes é monocromática;

4. A luz incide apenas na região central das lentes

RAIOS NOTÁVEIS NAS LENTES

(formando pequenos ângulos com o eixo principal).

As lentes convergente e divergente costumam ser

Lente convergente

representadas pelos símbolos a seguir. Veja que a lente Na lente convergente, existem dois pontos do eixo principal,

convergente é representada por uma dupla seta com as cada um deles chamado de **ponto antiprincipal** (2F), cuja

“pontas finas”, e a lente divergente, por uma dupla seta distância ao centro óptico da lente é igual a duas vezes a

com as “pontas largas”. Não usaremos essa simbologia em distância focal (2f). Podemos estabelecer uma analogia entre

nosso material. esses pontos e o centro de curvatura dos espelhos côncavos.

Os raios de luz notáveis para esse tipo de lente são:

1. Raio de luz que chega paralelo ao eixo principal e é refratado passando pelo foco 2;
2. Raio de luz que chega passando pelo foco 1 e é refratado paralelamente ao eixo principal;
3. Raio de luz que incide sobre a lente na direção do centro óptico (O) e atravessa a lente sem sofrer

Lente convergente Lente divergente desvio;

52 Coleção Estudo

Lentes esféricas

4. Raio de luz que incide sobre a lente passando pelo ponto antiprincipal ($2F$), atravessa a lente e é refratado em direção ao ponto $2F$, do outro lado desta. (C) (D)

1 F F 2_{11} F F 2_2

F F F_1 O F 1 O 2_2

3 4 As linhas pontilhadas (vermelhas) representam o trajeto

inicial dos raios extremos do feixe de luz. Após atravessar

F O as lentes, os raios de luz se aproximam e se afastam O₁ F₂ (ainda mais) nas lentes C e D, respectivamente. Assim, 2F F F₁ 2 2F as lentes C e D estão, respectivamente, convergindo e

divergindo a luz. As setas azuis mostram o desvio sofrido

por cada raio extremo do feixe.

Lente divergente

Na lente divergente, é suficiente conhecer apenas três **DETERMINAÇÃO GRÁFICA**

raios notáveis: DAS IMAGENS

-

1. Raio de luz que incide sobre a lente paralelamente

-

ao eixo principal desta e é refratado de forma que

-

seu prolongamento passe pelo foco 1; Em um espelho, a luz que incide sobre este é refletida de

■

volta ao mesmo lado de origem. Em uma lente, ao contrário,

-

2. Raio de luz que incide sobre a lente na direção do

a luz que incide sobre ela a atravessa e é refratada para o

■

foco 2 e é refratado paralelamente ao eixo principal

FÍSICA

■

outro lado. Essa diferença entre espelhos e lentes é a causa

-

desta;

da distinta obtenção de imagens por meio deles.

—

3. Raio de luz que incide sobre a lente na direção do centro

—

óptico (O) e atravessa a lente sem sofrer desvio.

Lente divergente

III

1 2

■

Uma lente divergente forma um tipo único de imagem,

III

independentemente da posição do objeto em relação a ela.

—

Veja a seguir.

III

F F F F₁ O₂₁ O₂ Observador

-

$\mathbb{R} \mathbb{R}_{\mathbb{R}}$



Objeto



3

Atenção: Na lente divergente, **não** é conveniente traçar

raio notável. Observe que os raios refratados (R) pela lente são R divergentes e não se cruzam. A imagem do objeto o raio incidente passando pelo foco 1, pois ele não é um



Considere uma pequena lâmpada posicionada sobre o é obtida prolongando-se esses raios (pontilhados



foco 1 de uma lente convergente (C) e, também, sobre o vermelhos). O observador tem a sensação de que



foco 1 de uma lente divergente (D). Veja a seguir. os raios refratados saíram da “cabeça” da imagem.



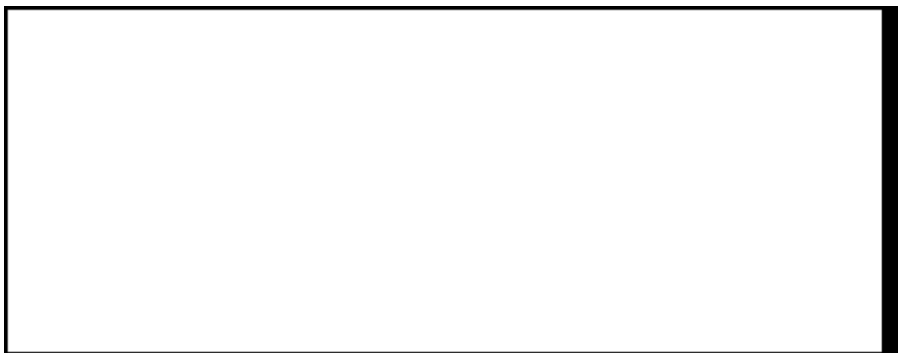


Frente C Módulo 05

Assim, o observador vê a imagem na posição mostrada, Observe, na figura anterior, que os próprios raios

e essa imagem é, **sempre**, refratados se cruzam. Na posição de encontro deles, ocorre

a formação de uma **imagem real** (nesse ponto, a luz está



chegando realmente). Essa é a imagem da “cabeça” do

1. **virtual** (formada pelos prolongamentos dos raios

objeto. Logo, a imagem é **invertida**, tanto vertical quanto

refratados); lateralmente. Se houvesse uma folha de papel, por exemplo,

2. **direta** (objeto e imagem de cabeças para cima); na posição em que a imagem se forma, esta seria projetada

3. **mais perto** da lente do que o objeto ($D_I < D_O$); sobre essa folha.

4. **menor** que o objeto ($H_I < H_O$ e $L_I < L_O$); Se um objeto se **afasta** de uma lente convergente,

5. posicionada **entre o foco 1** e o **centro óptico** da a sua imagem real se **aproxima** dela e vice-versa. A figura

lente (O). a seguir mostra um objeto colocado em alguns pontos

além do foco de uma lente convergente ($D > f$). Em todas o

Se o objeto se **aproxima** (ou se afasta) da lente, a imagem nessas situações, a imagem é **real** e **invertida**. As únicas

também se **aproxima** (ou se afasta). Veja a seguir que, diferenças entre as imagens são referentes às dimensões e

para qualquer posição do objeto (mesmo **sobre o foco 1** da à localização destas. Em qualquer um dos casos, a imagem

lente), o raio incidente, que é paralelo ao eixo, tem o mesmo estará localizada dentro do “triângulo” destacado. raio refratado e o mesmo prolongamento. Dessa forma,

a imagem estará sempre dentro do “triângulo”
sombreado.

Assim, qualquer que seja a posição do objeto, ainda
que Imagens O_1 O_2 O_3

muito distante da lente, a imagem dele estará sempre
perto $2F$ F_2

da lente. I I I_3 F_1 $2F$ v_0

$$R_{v1} \propto R_{\text{Objeto}}$$



$$F \quad v \quad v_{10}$$



2 Observador

O Imagem F_1

Veja a seguir as particularidades das imagens
formadas

por uma lente convergente. Compare com as imagens
formadas por um espelho côncavo e observe que a
natureza,

No caso de o objeto se colocar muito distante da
lente a localização e as dimensões dessas imagens
são idênticas.

(“infinito”), a sua imagem estará praticamente sobre o
foco Lembre-se de que o ponto antiprincipal da lente
(2F)

da lente e será muito pequena. equivale, no espelho
côncavo, ao centro de curvatura.

Lente convergente

Posição do Natureza, posição e
dimensões objeto da imagem

A lente convergente, ao contrário da lente
divergente, pode Entre 2F e F Imagem real, invertida e
localizada

formar diversos tipos de imagens, dependendo da
posição do

$$2f > D_o > f \text{ entre } 2F \text{ e o infinito. } D_i > D_o \text{ e } H_i > H_o$$

objeto em relação ao foco e em relação ao ponto
antiprincipal.

Assim, a imagem pode ser real ou virtual e pode ser
maior, Sobre 2F Imagem real, invertida e localizada sob menor
ou igual ao objeto. Veja os casos a seguir. $D_o = 2f$ 2F. D_i
 $= D_o$ e $H_i = H_o$

Objeto entre o infinito e o foco (Além de

2F Imagem **real, invertida** e localizada $\infty > D > f$)

O $D_o > 2f$ entre 2F e F₂. $D_i < D_o$ e $H_i < H_o$

Objeto

Uma situação particular ocorre para um objeto muito distante da lente ($D \gg 2f$). Nesse caso, dizemos que O_o

H_o objeto está no “infinito”. A imagem formada pela lente

Imagem F₂ O F₁ pequena e se localiza, praticamente, sobre o foco (D convergente, nessa situação, é real, invertida, muito

$I_f \cong$

Se você usa uma lente convergente para “queimar papel”,

H_i você está projetando a imagem do Sol (que está no infinito)

sobre a folha. Outra situação particular e interessante

R_R ocorre quando o objeto encontra-se sobre o foco da lente.

os seus prolongamentos) e não ocorre

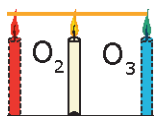
a formação de imagem. Alguns autores consideram
que



D₁ Do nessa situação a imagem se forma no infinito e,
por isso,

Observador ela é chamada de “imprópria”.





Lentes esféricas

Objeto entre o foco e o centro óptico

da Veja com atenção as posições dos objetos (O_1 , O_2 e O_3) e das correspondentes imagens (I_1 , I_2 e I_3). Um fato importante **lente ($D < f$)** O deve ser destacado em relação à posição de cada imagem.

Imagem Ela pode estar em qualquer posição entre o centro óptico da

lente (O) e o infinito (∞). A única exigência, nessa situação, é de que a imagem esteja mais distante da lente do que o

objeto
($D > D_o$).
).₁₀

H H: Você deve ter notado que, para objetos reais,
toda imagem

F₂ O. **real** é **invertida** e qualquer imagem **virtual** é
direta.

R Objeto F₁ **COMPARAÇÃO ENTRE** R

D ESPELHOS E
LENTES

as imagens formadas por espelhos esféricos e as
imagens

Observador

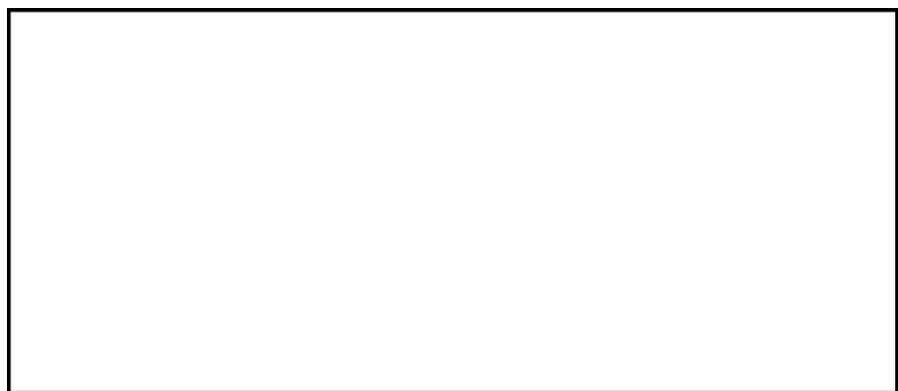
formadas por lentes. Nas duas comparações a seguir,

Observe na figura anterior que , quando o objeto encontra-se o objeto pode se deslocar do dispositivo óptico até o “infinito”.

entre o foco e o centro óptico da lente, os raios refratados Observe as figuras adiante e analise as imagens virtuais

por ela são divergentes e não se cruzam. A imagem se formadas pelo espelho convexo e pela lente divergente. forma no ponto em que os prolongamentos dos raios ∞ refratados se encontram e, portanto, essa imagem é virtual.

As características da imagem para tal posição do objeto são: nessa região Objeto colocado O



1. **virtual** (formada pelos prolongamentos dos raios

refratados); V Imagens F Observador

2. **direta** (não existe inversão vertical); **FÍSICA**

3. **sem inversão** lateral;

4. de dimensões (altura e largura) **maiores** que as do

objeto ($H > H$ e $L > L$); ¹ Imagens

o ¹o virtuais

5. **mais distante** da lente que o objeto ($D > D$) e sempre ¹o F do mesmo lado deste.¹

A situação representada na figura anterior tem uma Observador ∞ Objeto colocado

na parte de cima

aplicação importante e usual. Nesse caso, a lente é chamada dessa região de “lente de aumento” (ou **lupa**) e é muito usada para

ampliar imagens de pequenos objetos. Para destacar uma

Note que as imagens se localizam, exclusivamente, entre

informação dada no início do módulo, uma lupa pode ser

o elemento óptico e o seu foco (dentro dos triângulos usada, indistintamente, com qualquer uma das suas faces.

destacados) e do lado oposto à posição do observador.

Na situação anterior, se o objeto se **afasta** da lente, Veja, a seguir, as imagens reais e virtuais formadas por

aproximando-se do foco, a imagem também se **afasta** dela e um espelho côncavo e por uma lente convergente. tende ao infinito. Veja a seguir algumas posições das imagens

formadas por uma lente convergente quando o objeto se desloca

entre o centro óptico (O) e o foco 1 dessa lente. As imagens, Objeto colocado virtuais, estão sempre dentro do “triângulo” destacado. nessa região ∞

$I_3 \infty$ Imagens virtuais F

V_1

I I F₂ Imagens reais

₁ Observador

F R_R ∞ Imagens reais F₂ F₁ O₁ ∞ O O O F Imagens virtuais _{1 2 3 2}



Vo na parte de cima

Observador dessa região



Observador



Editora Bernoulli 55











Frente C Módulo 05

Veja, nas figuras anteriores, que só não há formação de Na 2ª equação (de Gauss), devemos usar a seguinte

imagem entre o dispositivo óptico e o foco que está do lado convenção de sinais, semelhante à usada para os espelhos:

do observador. O quadro a seguir resume essas conclusões. 1. em qualquer situação $\rightarrow D > 0$ (positivo);_o

2. lente convergente $\rightarrow f > 0$ (positivo);

Tipo de Posições nas quais se 3. lente
divergente $\rightarrow f < 0$ (negativo); **localizam as imagens**
na(o)

imagem 4. imagem real $\rightarrow D > 0$ (positivo);_l

Lente Espelho 5. imagem virtual $\rightarrow D < 0$

(negativo)._l Do lado oposto ao Do mesmo lado que

Real objeto em relação o objeto em relação

à lente à lente **VERGÊNCIA**
OU GRAU DE

Do mesmo lado Do lado oposto ao

Virtual que o objeto em objeto em
relação UMA LENTE (V) relação à lente à
lente

Veja, ainda, que as imagens **reais**, formadas pelo A
vergência (V) de uma lente é determinada pelo tipo
de

espelho ou pela lente, estão sempre na mesma região
lente e por sua capacidade de “ampliar ou reduzir” a
imagem

que o observador. Já as imagens **virtuais** e o
observador, de um objeto colocado em certa posição.
A vergência é

seja no espelho ou na lente, estão em lados opostos do
definida como o inverso da distância focal (f), ou seja:

dispositivo óptico. $1 V = f m ()$

DETERMINAÇÃO ANALÍTICA Nessa
equação, devemos ressaltar que

1. a unidade de medida da vergência é a **dioptria** (di)

DA IMAGEM (vulgarmente chamada de “grau”
da lente) e é igual a m_{-1} ;

As relações entre as grandezas H e H (alturas do objeto 2. para se obter a vergência de uma lente em dioptrias, o_1

e da imagem), D e D (distâncias do objeto e da imagem devemos usar a distância focal dela em metros; o_1

à lente) e f (distância focal) para as lentes são obtidas 3. o sinal da distância focal determina o tipo de lente e, da mesma forma que para os espelhos e, por isso, a sua por isso, o sinal da sua vergência, a saber: demonstração será omitida. Considere a figura a seguir.

Lente convergente $\rightarrow f > 0 \rightarrow V > 0$ (positiva)

Objeto Lente divergente $\rightarrow f < 0 \rightarrow V < 0$ (negativa)

H Considere as duas lentes A e B mostradas a seguir e o observe os raios de luz que convergem para o foco 2 de cada

Imagem F O F₂₁ uma delas. Veja que a lente A tem a curvatura das faces mais

H₁ lente seja mais convergente que a segunda. Observe a acentuada do que a da lente B. Isso faz com que a primeira

R posição de cruzamento dos raios refratados (F de cada uma). 2_R Considere, ainda, que as

distâncias focais das lentes sejam

1. se $A > 1$, a imagem é **maior** do que o objeto e está $V = 1/f = 1/0,50 \text{ m} \Rightarrow V_{BB} = +2,0 \text{ di} = +2,0$ “graus”_B **mais longe** da lente do que o objeto;

Observe que a vergência da lente A é maior que a da

2. se $A = 1$, a imagem é do **mesmo tamanho** do objeto

lente B. Se elas são usadas como lupa (objeto entre o foco 1

e está na **mesma distância** do objeto à lente;

e o centro óptico de cada uma), a lente A, para objetos

3. se $A < 1$, a imagem é **menor** do que o objeto e está à mesma distância das lentes, fornece uma imagem

mais perto da lente do que o objeto. virtual maior. Agora, uma pergunta para você refletir.

56 Coleção Estudo

Lentes esféricas

Para objetos colocados além do foco 1 das lentes ($D > f$) Considere que os focos 1 e 2 da lente sejam F e F_{o1} e à mesma distância delas, qual lente vai formar a maior conforme mostrado anteriormente. A distância focal (f) da

imagem real? lente pode ser calculada por meio da equação dos fabricantes

Se as lentes fossem divergentes, suas vergências seriam de lentes, mostrada a seguir:

$V = -5,0 \text{ di}$ e $V = -2,0 \text{ di}$. Como a lente A tem a menor $n \rightarrow 1$ $n \rightarrow 1$ vergência, ela forma, para objetos à mesma distância das $= \left| - \frac{1}{R} \right| + \left| \frac{1}{f} \right| n$ R R lentes, a menor imagem. $\left(\frac{1}{2} \right)$

Nessa equação, devemos seguir esta convenção de sinais

JUSTAPOSIÇÃO DE LENTES para os raios das faces da lente: • Face convexa $\Rightarrow R > 0$ (positivo);

coaxialmente, em **contato** uma com a outra, elas funcionam Quando duas lentes, de vergências V • Face côncava $\Rightarrow R < 0$ (negativo); e V , são justapostas $n \rightarrow 1$ • Face plana $\Rightarrow R \rightarrow \infty$ ($1/R \rightarrow 0$). como se o sistema fosse formado por uma única lente

equivalente (E) de vergência V . Veja a seguir.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

A B F F E F **01.** No esquema mostrado a seguir, O é um objeto

real e I,

$V_{AB} \Rightarrow$ sua imagem, conjugada por um dispositivo óptico. A partir das informações e do diagrama seguinte, determinar a

V V_{AB} V posição do observador e do dispositivo óptico, se este for

A) um espelho esférico;

A lente equivalente, nesse caso, apresenta uma distância B) uma lente esférica delgada.

focal menor que as distâncias focais das lentes A e B.

Assim, a lente equivalente tem maior vergência do que as

vergências individuais das lentes A e B. A vergência (V) da o lente equivalente pode ser calculada por:

$$V = V + V_{AB}$$

FÍSICA

No dia a dia, a luz é, geralmente, policromática e incide

Resolução

em toda a extensão de uma lente. Se a lente apresenta

aberrações que atrapalham a sua visualização. As aberrações real. Os únicos dispositivos que formam imagem real (de um objeto real) são os espelhos côncavos e as lentes mais comuns são a esférica e a cromática. Para minimizar tais uma vergência elevada, a imagem formada pode apresentar Observe que a imagem é invertida, portanto, ela é

aberrações, os instrumentos ópticos usam uma justaposição (H convergentes. Como a imagem é menor que o objeto de duas ou mais lentes, de modo que uma lente minimize $f_1 < H$), a distância dela ao dispositivo deve ser menor o

que a distância do objeto a ele ($D < D_1$). Sendo assim, f_2

a aberração produzida pela outra. temos:

A) Se o dispositivo é um espelho, a imagem real fica do

EQUAÇÃO DOS FABRICANTES mesmo lado que o objeto e o observador, em relação

ao espelho. Logo, o espelho deve ficar à direita da

DE LENTES imagem e do objeto. Como $D_i < D_o$, o espelho

deve ficar

à direita da imagem e o observador, à esquerda dela.

O

A face de uma lente esférica tem origem numa esfera
Espelho

de raio R . A figura a seguir mostra uma lente de índice
de

refração n Observador I que, propositadamente, tem faces
de curvaturas L

diferentes. Nela, C_1 e C_2 representam os centros das
esferas S_1 S_2

que deram origem às faces de raios iguais a R_1 e R_2 , S_1 S_2 B)

Se o dispositivo é uma lente, a imagem real fica do

respectivamente. A lente está mergulhada numa
substância lado oposto do objeto, em relação à lente. Portanto, de
índice de refração igual a n . meio a lente deve ficar entre o
objeto e a imagem e mais

perto dela ($D_1 < D_2$). O observador, para ver a imagem I_1 o

R_1 real, deve ficar à direita da imagem.

F_1 O O O O O O O O O O O O O O O F_2 Lente R_1 R_2



C_1 C_2



Frente C Módulo 05

02. Uma lente de vidro ($n_L = 1,5$), imersa no ar, possui

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

uma face côncava e outra convexa, de raios R e R_2

cujos valores, em módulo, são 60 cm e (60/7) cm,

01. (UFMG) As figuras representam, de forma esquemática,

respectivamente. Um objeto de 10 cm de altura é colocado espelhos e lentes.

a 30 cm de distância do centro óptico da lente.

A) Calcular a distância focal e a vergência da lente.

B) Determinar o tipo de imagem formada, a sua altura e sua distância até o objeto.

C) Essa lente é justaposta a uma outra lente plano-

côncava, cuja vergência é, em módulo, $|V_2| = 3,0 \text{ di}$.

Espeelho E Espeelho E Lente L Lente L_{1 2 12} Responder se a lente equivalente será convergente

Para se projetar a imagem de uma vela acesa sobre uma parede, pode-se usar

ou divergente.

Resolução: A) o espelho E₁ ou a lente L₂.

A) Para determinar a distância focal (f), vamos usar a B) o espelho E ou a lente L_{1 1}

equação dos fabricantes de lentes, com os seguintes C) o espelho E₂ ou a lente L₂.

dados: R D) o espelho E₂ ou a lente L₁. = -60 cm (face côncava), $R_{1 2} = +(60/7) \text{ cm}$

(face convexa) e $n = 1,0$. ar **02.** (UFLA-MG)
Coloca-se uma pequena lâmpada no foco de

1 (uma lente de índice de refração n_L e, em seguida, imerge-se n_L 1 1 1 (1,5 5 (1 7) = | - 1 || + | - 1 o conjunto num líquido de índice de refração n . || f | n | | R R | $\Rightarrow$ = f 1 0 , (meio) (1 2 || - + || || 60 60) () n 1

$$1 \left(1 \right) \left(6 \right) F \text{ Eixo óptico} = || |||| || \Rightarrow f = 20 \text{ cm}$$

Assim, a vergência (V) da lente é: Repetindo-se o procedimento anterior num segundo

$V = 1/f(m) = 1/0,2$ m líquido, com índice de refração n_2 , obteve-se o seguinte $\Rightarrow V = 5,0$ di percurso para os raios luminosos: Como a distância focal e a vergência são positivas,

a lente é convergente.

B) Vamos usar as equações de Gauss e da ampliação n_2

para determinar as características da imagem: F Eixo óptico

$$1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 = + \Rightarrow = + \Rightarrow D_I = 60 \text{ cm}$$

$$f \ D \ D \ 20 \ 30 \ D \ O \ II$$

A = H D 60 II H = É **CORRETO** afirmar que

$$H \Rightarrow I = \Rightarrow H = 20 \text{ cm} \ A) \ n_2 > n_1 > n_L \ D) \ n_2 > n_L > n_1 \ I \ D \ 10 \ 30 \ O \ O \ B) \ n = n > n \ E) \ n = n > n \cdot 2 \ L \ 1 \ L \ 1 \ 2$$

C)
 n_L
>
 n_2

Como D é positivo, a imagem é real. Utilizando-se

lentes, a imagem real fica do lado oposto do objeto em

03. (FJP-MG-2010) Uma lente de vidro é utilizada para

projetar a imagem de um objeto sobre uma tela, como

relação ao dispositivo. Assim, a distância imagem-objeto

representado nesta figura. Nessa situação, uma imagem

é a soma $D_i + D_o$. Portanto, a imagem formada é real, nítida do objeto é observada sobre a tela. Em seguida,

invertida, tem o dobro da altura do objeto ($H = 20 \text{ cm}$), e a lente é substituída por outra lente do mesmo material,

e a distância objeto-imagem é de 90 cm . porém mais espessa no centro.

Tela

C) A lente a ser justaposta é plano-côncava e, por

isso, estando imersa no ar, ela é divergente. Logo, Lente

Objeto

sua vergência é $V_2 = -3,0 \text{ di}$. A vergência da lente

equivalente é $V = V_1 + V_2 = 5,0 + (-3,0) = 2,0 \text{ di}$. E 2

Como a vergência total é positiva, a lente equivalente possui comportamento convergente.

Para que, após essa substituição, uma imagem nítida

02. (Cesgranrio) A partir de uma lente biconvexa L e sobre

do objeto se forme sobre a tela, foram sugeridos dois seu eixo principal, marcam-se cinco pontos A, B, C, D e E

procedimentos:

a cada 10 cm, conforme ilustra a figura.

I. afastar a tela da lente, mantendo o objeto na mesma

posição;

II. aproximar o objeto da lente, mantendo a tela na

mesma posição.

10 cm

Considerando essas informações, é **CORRETO** afirmar

Q P 20 cm A B C D E

que o resultado desejado pode ser produzido

A) apenas com o primeiro procedimento.

B) apenas com o segundo procedimento. L

C) com os dois procedimentos.

Observa-se que um raio luminoso emitido de um ponto P,

D) com nenhum dos dois procedimentos.

distante 20 cm dessa lente, após atravessá-la, emerge

04. paralelamente ao seu eixo principal. Portanto, se esse

(UFLA-MG) Um objeto real que se encontra a uma distância

de 25 cm de uma lente esférica delgada divergente, cuja raio for emitido de um ponto Q, situado a 40 cm dessa

distância focal é, em valor absoluto, também de 25 cm, lente, após atravessá-la, ele irá convergir para o ponto

A) não fornecerá imagem. A) A. D) D.

B) terá uma imagem real, invertida e do mesmo tamanho B) B. E) E.

do objeto, a 25 cm da lente. C) C.

C) terá uma imagem real, invertida e ampliada, a 12,5 cm

da lente. **03.** (EFOA-MG) Colocando-se um objeto em frente a uma lente

D) terá uma imagem virtual, direita e ampliada, a 25 cm de distância focal f , observa-se que a imagem formada

do objeto. desse objeto é invertida, e sua altura é menor que a do

E) terá uma imagem virtual, direita e reduzida, a 12,5 cm objeto. É **CORRETO** afirmar que

do objeto.

A) o objeto deve estar situado a uma distância da lente

05. maior que $2f$. **FÍSICA** (UFMG) Na figura, estão representados três raios de luz

emergindo de uma fonte localizada em P, passando pelas B) a imagem formada é virtual.

lentes delgadas (L_1 e L_2), ocultas pelas caixas, e atingindo Q. C) a lente é divergente.

D) o objeto deve estar situado entre o foco e a lente.

P Q E) em relação à lente, a imagem formada encontra-se

no mesmo lado do objeto.

L_1 L_2

04. (UFPR-2007) Um estudante usando uma lupa sob a luz

Com relação ao perfil das lentes L_1 e L_2 , respectivamente, L_1 e L_2 do Sol consegue queimar uma folha de papel devido à

a afirmativa **CORRETA** é concentração dos raios do Sol em uma pequena região.

A) B) C) D) Ele verificou que a maior concentração dos raios solares ocorria quando a distância entre o papel e a lente era de 20 cm. Com a mesma lupa, ele observou letras em seu relógio e constatou que uma imagem nítida delas era

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

obtida quando a lente e o relógio estavam separados por

uma distância de 10 cm. A partir dessas informações,

01. (UFMG) Nesta figura, está representado o perfil de três lentes de vidro. 1. A distância focal da lente vale $f = 20$ cm. considere as seguintes afirmativas:

lentes de vidro.

2. A imagem das letras formada pela lente é invertida e virtual.

3. A lente produz uma imagem cujo tamanho é duas vezes maior que o tamanho das letras impressas no relógio.

I II III Assinale a alternativa **CORRETA**.

Rafael quer usar essas lentes para queimar uma folha de papel com a luz do Sol. A) Somente a afirmativa 1 é verdadeira.

B) Somente a afirmativa 2 é verdadeira.

Para isso, ele pode usar apenas C) Somente a afirmativa 3 é verdadeira.

A) a lente I. C) as lentes I e III. D) Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.

B) a lente II. D) as lentes II e III. E) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.

Editora Bernoulli 59

Frente C Módulo 05

05. (EFOA-MG) Duas lentes iguais são fabricadas com um **07.**

(UFLA-MG) Uma lente forma a imagem real de um objeto,

material cujo índice de refração é $n_L = 1,5$. Para testar como mostra a figura A a seguir. Cobrindo-se metade da lente,

suas propriedades ópticas, uma delas é colocada em um como mostrado na figura B, o que acontece com a imagem?

recipiente contendo um meio A (índice de refração $n_A = 1,5$). Lente Lente

A outra lente é colocada em um recipiente contendo um

meio B (índice de refração $n_B = 1,7$), conforme figura a

seguir. Faz-se incidir, então, na lente dentro de cada um

dos recipientes, um feixe de luz monocromática. Figura A Figura B

Meio A Meio B

A) A imagem continua a ser formada, porque a luz é um

Luz n_{Luz} fluido e contorna obstáculos.

B) A imagem deixará de ser formada, porque só os

Com base nesse experimento, podemos afirmar que raios que atravessam a metade superior da lente

contribuem para a formação da imagem.

A) no meio A, a lente não funcionará como lente e,

no meio B, a lente será divergente. C) A imagem continua a ser formada, com menor

intensidade, pelos raios luminosos que atravessam a

B) no meio A, a lente não funcionará como lente e,

no meio B, a lente será convergente. metade inferior da lente.

C) no meio A, a lente será convergente e, no meio B, D) A imagem continua a ser formada sem alteração de

a lente será divergente. intensidade, pois apenas os raios que passam pela

metade inferior da lente contribuem para a formação

D) no meio A, a lente será divergente e, no meio B,

da
imagem

a lente será divergente.

E) as lentes serão sempre convergentes, E) A imagem passa a ser virtual e formada do lado

independentemente do meio em que se encontram. esquerdo da lente.

06. (Milton Campos-MG) A figura a seguir mostra um estreito residencial constituído simplesmente de uma lente **08.** (Fatec-SP) “Olho mágico” é um dispositivo de segurança

feixe monocromático de luz, propagando-se inicialmente esférica. Colocado na porta de apartamentos, por exemplo,

no ar e incidindo numa lente delgada de vidro. permite que se veja o visitante que está no *hall* de

entrada. Quando um visitante está a 50 cm da porta, um desses dispositivos forma, para o observador dentro do Lente apartamento, uma imagem três vezes menor e direita F F do rosto do visitante. Assinale a alternativa que se aplica a esse caso quanto às características da lente do olho

Entre as alternativas a seguir, assinale aquela que mágico e o seu comprimento focal (f).

MELHOR representa o comportamento do feixe após A) Divergente, $f = -300$ cm.

ultrapassar a lente. B) Divergente, $f = -25$ cm.

A)

C) Divergente, $f = -20$ cm.

D) Convergente, $f = +20$ cm.

F E) Convergente, $f = +300$ cm. F

09. (Cesgranrio) Em uma aula sobre Óptica, um professor,

B) usando uma das lentes de seus óculos (de grau $+1,0$ di),

F projeta, sobre uma folha de papel colada ao quadro de giz, F

a imagem da janela que fica no fundo da sala (na parede

oposta à do quadro). Para isso, ele coloca a lente a 1,20 m

C) da folha. Com base nesses dados, é **CORRETO** afirmar

que a distância entre a janela e o quadro de giz vale

A)
2,4
m.

F F

B)
4,8
m.

C)
6,0
m.

D)

D)
7,2
m.

F F E) 8,0 m.

60 Coleção Estudo

Lentes esféricas

10. (CEFET-MG–2008) Um objeto O é colocado sobre o eixo **13.**
(UEL-PR) O esquema a seguir representa, em escala, um

principal de duas lentes de vidro L objeto O e sua imagem i
conjugada por um sistema óptico S. 1 e L_2 , conforme mostram

as seguintes figuras. As lentes estão no ar, e F representa O sistema
óptico S compatível com o esquema é

o foco da lente L S. Sobre as lentes, afirma-se: 1

O L_1 Figura 1 O

F F i

Figura 2

I. A lente L₂ A) um espelho côncavo. é convergente, enquanto L₁ é divergente.

II. A distância focal de L é menor do que a de L₂ B) um espelho convexo.

C) uma lente convergente.

III. A imagem de O produzida por L₂ é maior do que a produzida por L D) uma lente divergente. . 1

IV. As imagens de O geradas pelas duas lentes são reais. E) uma lâmina de faces paralelas.

Estão **CORRETAS** apenas as afirmações **14.** (UFF-RJ)
A figura representa um objeto real (O) e a sua

A) I e II. imagem (I) obtida por um dispositivo óptico simples (D).
C) II e III. E) III e IV.

D

B) I e III. D) II e IV.

O

11. (UNIFESP) Tendo-se em vista que as lentes são, Eixo

na prática, quase sempre usadas no ar, a equação dos óptico
fabricantes de lentes costuma ser escrita na forma: I



$$C = (n - 1) \left[\left(\frac{1}{R_1} \right) + \left(\frac{1}{R_2} \right) \right]$$

Nessas condições, pode-se afirmar que a convergência Sabendo que
essa imagem é real, invertida e do mesmo **FÍSICA**

de uma lente plano-convexa de índice de refração tamanho que o objeto, pode-se afirmar que o dispositivo

$n = 1,5$ e cujo raio da face convexa é $R = 20 \text{ cm}$ é óptico é

A) 0,50 di. A) um espelho plano. C) 1,5 di. E) 2,5 di.

B) uma lente delgada convergente.

B) 1,0 di. D) 2,0 di.

C) um espelho esférico convexo.

12. D) um espelho esférico côncavo. (UFTM-MG-2008) Duas lentes esféricas, uma plano-

convexa e outra plano-côncava, são justapostas e E) uma lente delgada divergente.

inseridas no vácuo (índice de refração igual a 1). Os

raios de curvatura de ambas as lentes têm o mesmo **15.** (UNIRIO-RJ) Uma pessoa deseja construir um sistema

valor; entretanto, seus índices de refração diferem. óptico capaz de aumentar a intensidade de um feixe de

A vergência do conjunto, resultado da adição das raios de luz paralelos, tornando-os mais próximos, sem que

vergências individuais de ambas as lentes, em di, pode modifique a direção original dos raios incidentes. Para isso,

ser determinado por tem à sua disposição prismas, lentes convergentes, lentes

divergentes e lâmina de faces paralelas. Tendo em vista

que os elementos que constituirão o sistema óptico são

n_1 feitos de vidro e estarão imersos no ar, qual das cinco

composições a seguir poderá ser considerada como uma

possível representação do sistema óptico desejado?

A) D)

$$A) n + n_2 C = n_1 n - n B) . D) E) C = n_1 n_2 . 2 R R$$

$$B) n + n n - n_1 C = n_2 . E) C = n_1 n_2 . R R$$

$$C) n C) n_1 C = R . n_2$$

Editora Bernoulli **61**

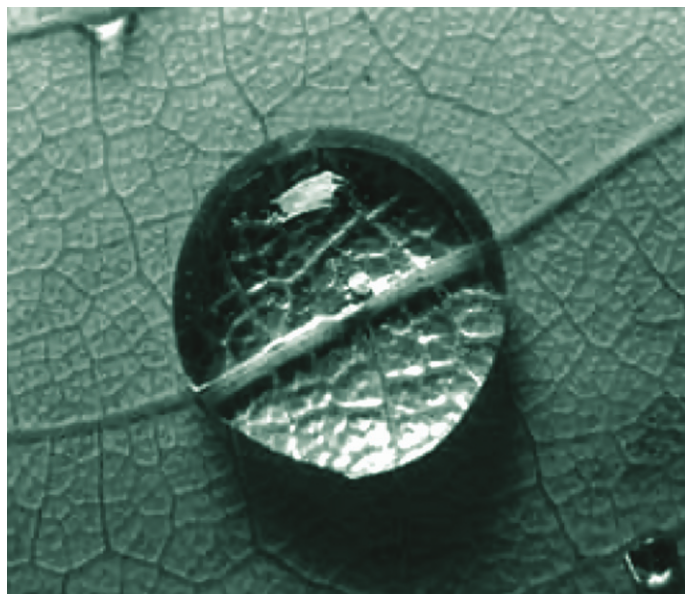
Frente C Módulo 05

16. (UEL-PR) Uma associação de lentes delgadas justapostas **02.** A figura mostra uma gota de água sobre uma folha,

é formada por duas lentes. Uma delas é convergente, de permitindo ver detalhes ampliados através dela, sem

distância focal igual a f . A distância focal da associação é $2f$. invertê-los. Na situação descrita, a gota funciona como

Qual o tipo e a distância focal (x) da segunda lente?



- A) Divergente; $|x| = 2f$ D) Convergente; $x < f$
B) Convergente; $x > f$ E) Convergente; $x = f$
C) Divergente; $|x| \neq f$

17. (UFJF-MG-2007) Considere um objeto e uma lente delgada de vidro no ar. A imagem é virtual e o tamanho da imagem é duas vezes o tamanho do objeto. Sendo a distância do objeto à lente de 15 cm,

A) **CALCULE** a distância da imagem à lente.

B) **CALCULE** a distância focal da lente.

C) **DETERMINE** a distância da imagem à lente, após

mergulhar todo o conjunto em um líquido, mantendo A) uma lente divergente, com o objeto colocado no seu

a distância do objeto à lente inalterada. Nesse líquido, plano focal.

a distância focal da lente muda para aproximadamente B) uma lente divergente, com o objeto colocado entre

60 cm. seu plano focal e a própria lente.

D) **DETERMINE** a nova ampliação do objeto fornecida C) uma lente convergente, com o objeto colocado além

pela lente. de seu plano focal.

D) uma lente convergente, com o objeto entre seu plano

SEÇÃO ENEM focal e a própria lente. E) uma lente convergente, com o objeto colocado no seu

plano focal.

01. As lentes convergentes podem formar imagens reais

de objetos distantes do instrumento. Se o objeto está

infinitamente afastado, por exemplo, elas formam

GABARITO

imagens praticamente sobre o seu foco. Para todo

objeto real, o tamanho (H_I) da imagem formada por **Fixação**

uma lente pode ser calculado por: $H_I = H_o D_I / D_o$,

em que H_o representa o tamanho do objeto e D_o

e D_I , as distâncias do objeto e de sua imagem

até a lente, respectivamente. A relação de Gauss, 03. B

entre essas grandezas e a distância focal da lente, 04. E

é $(1/f) = (1/D_{05} \cdot C) + (1/D)$. Considere uma lente biconvexa

01

circular, de diâmetro $d = 10 \text{ cm}$ e de distância focal $f =$

Propostos

2,0 m (0,5 “grau”), usada para convergir a luz do Sol

sobre uma folha de papel. Considere, ainda, que ela 01. C 04. D 07.
C 10. D 13. D

seja colocada perpendicularmente à incidência solar 02. D 05. A 08.
B 11. E 14. D

e que toda a energia que chega à lente é transmitida 03. A 06. A 09.
D 12. D 15. D

até a folha de papel. A distância média da Terra ao Sol

16.
A

é, aproximadamente, 200 vezes maior que o diâmetro

deste. Dessa forma, essa lente consegue aumentar a 17. A) $D_I = -30 \text{ cm}$

densidade superficial de energia solar sobre o papel, a B) $f = 30 \text{ cm}$

cada instante, em relação àquela que chegaria sem a C) $D_r = -20 \text{ cm}$

lente em, aproximadamente, D) $A = 1,33$

A) 1%. **Seção Enem**

B) 10%.

C) 100%. 01. E

D) 1 000%. 02. D

E) 10 000%.

62 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE

Instrumentos ópticos 06 C

Os instrumentos ópticos permitem ao homem enxergar o **MÁQUINA FOTOGRÁFICA**

mundo imediatamente à sua volta, bem como aquilo que está

muito distante ou o que é muito pequeno. Um instrumento A câmera fotográfica tradicional é um instrumento de

óptico forma uma imagem que, geralmente, é maior do que o projeção no qual a imagem a ser registrada deve ser

objeto ou que “traz o objeto” para perto do olho do observador. projetada sobre o filme, ou sobre o sensor óptico de câmeras

Os instrumentos ópticos podem ser divididos em dois grupos: digitais, que se encontra no interior destas. Por causa disso,

os instrumentos de projeção e os de observação. No primeiro a imagem formada deve ser real e, portanto, invertida.

grupo, temos o projetor (de *slides* ou multimídia), a máquina Assim, a distância da imagem à lente (D) será representada, fotográfica e o olho humano, entre outros. Do segundo grupo, por um número positivo. A distância do objeto a ser

podemos citar o binóculo, o microscópio, o telescópio e fotografado à lente (D) varia conforme ele esteja longe ou o

os óculos. Outra forma de classificar os instrumentos ópticos perto da câmera.

se baseia na maneira como eles formam as imagens. Assim, As máquinas de média ou baixa qualidade, que não permitem

temos os instrumentos refletores (que usam espelhos) e os ajustes em relação ao afastamento do objeto, possuem uma

instrumentos refratores (que usam lentes). lente de pequena distância focal, em relação à distância a que

o objeto se encontra da lente, chamada de objetiva.
Dessa

A visão que temos do tamanho de um objeto, ou de sua

forma, qualquer objeto estará muito distante da
câmera (no

imagem, depende das suas dimensões e da distância a

“infinito” em relação à lente) e, conseqüentemente, a sua

que ele se encontra do nosso olho. Ou seja, a impressão imagem será formada no plano focal da lente. Portanto, para

que temos do tamanho do objeto está relacionada com o que a imagem seja projetada sobre o filme, este deve estar

ângulo (α) segundo o qual o objeto é visto. Quanto maior for posicionado no plano focal da lente. esse ângulo, maior será a sensação que temos do tamanho

As câmeras profissionais permitem que objetos
próximos

do objeto. Observe a figura seguinte. Ela mostra um objeto

que é visto, diretamente, segundo o ângulo visual α . a perfeição. Nesse caso, para que a imagem seja nítida ou distantes das câmeras sejam registrados com a mesma

A figura mostra também duas imagens do objeto, formadas

(bem focada), a distância focal (f) da objetiva, ou a
distância

de maneiras distintas. Na imagem à esquerda, a imagem do da película (onde se formará a imagem) à lente (D), deve

objeto foi ampliada, mas encontra-se na mesma posição que ser ajustável. Nas câmeras com objetiva

de distância focal

o objeto. Na imagem à direita, a imagem possui o mesmo tamanho, a distância da lente ao filme deve ser alterada,

tamanho que o objeto, no entanto, está mais próxima do observador. Veja que, nas duas situações, a imagem está

sendo vista segundo um ângulo visual α , maior que α_0 . Portanto, nos dois casos, o observador tem a impressão de um “objeto” maior.

Imagem ampliada Veja que, para objetos distantes da câmera (D grande), o

Imagem aproximada a distância da imagem à lente (D) deve ser pequena e, para

para objetos próximos da máquina, D deve ser grande.

Objeto A variação da distância da lente à imagem é obtida α



o por meio da aproximação ou do afastamento da lente

Observador em relação ao filme. Isso pode ser feito de forma

manual, como nas antigas câmeras “lambe-lambe”, ou

Essas duas situações explicam o funcionamento de muitos automática, como ocorre quando você “mira” o objeto

instrumentos ópticos. Esses instrumentos formam imagens a ser fotografado e percebe que a lente se desloca para

maiores que o objeto ou aproximam a imagem dos olhos a posição adequada. Algumas câmeras profissionais

do observador. Em ambos os casos, o ângulo segundo o possuem mais de uma lente. O ajuste na focalização do

qual a imagem é vista torna-se maior, justificando o uso objeto é feito alterando a distância entre as lentes, o que

do instrumento. provoca uma mudança na distância focal do conjunto.

Editora Bernoulli 63

Frente C Módulo 06

Considere que, nessas máquinas, a distância do filme Se a luminosidade exterior é elevada, a pupila se contrai, de

ao conjunto de lentes seja constante. Observe a seguir, modo a minimizar a entrada de luz. Ao contrário, com

baixa

portanto, que, para objetos distantes, a distância focal deve ser grande, e, para objetos próximos, a distância focal deve ser menor. imagem. As figuras a seguir mostram um olho com a pupila

dilatada e outro com a pupila contraída.

$\frac{1}{f} = \frac{1}{D} + \frac{1}{D_{oi}}$

Constante positiva



$f = D + D_{oi}$

A figura a seguir mostra a formação da imagem numa

câmera fotográfica simples. e Commons

Objetiva

O cristalino é uma lente biconvexa convergente, maleável Filme

e responsável pela focalização final das imagens sobre a

Imagem retina. As bordas do cristalino são envolvidas pelos músculos

L ciliares, cuja função é a de comprimir o cristalino, de modo a

alterar a sua curvatura e, conseqüentemente, a sua distância

Na parte frontal de uma câmera, existem dois focal.

Veja a seguir um cristalino sem compressão – com

dispositivos – o diafragma e o obturador –, cujas funções são, músculos ciliares relaxados (1) –, e outro com um certo

respectivamente, controlar a quantidade de luz que entra na esforço de compressão dos músculos (2). máquina e abrir e fechar a câmera para permitir a execução

da fotografia. Ou seja, a máquina fotográfica é uma câmara

escura que projeta na parede oposta (filme) a imagem

formada pela luz que entra pelo orifício (diafragma).

(1) (2)

OLHO HUMANO A retina – película localizada na parte posterior do globo

ocular – é formada por dois tipos básicos de células

à luz: os **cones** (responsáveis pela percepção de cores) e

O olho é, sem dúvida, o instrumento óptico mais os **bastonetes** (que não distinguem as cores, mas são os importantes para o ser humano. É um órgão complexo, responsáveis pela percepção dos níveis de intensidade da

composto de diversas estruturas, dentre as quais algumas luz emitida pelos objetos). Quando a imagem é projetada na

interessam a esse ramo da Física. A figura a seguir mostra retina, o nervo óptico, acoplado a ela, transmite a informação

um olho humano e os elementos físicos mais relevantes visual ao cérebro. para o nosso estudo.

Cristalino OLHO HUMANO NORMAL

Retina

Córnea O olho normal é aquele capaz de formar imagens nítidas

para objetos próximos, aproximadamente a 25 cm do olho,

Músculo Nervo ou afastados, no infinito, em relação ao observador. Em ciliar óptico ambos os casos, a imagem deve ser formada sobre a retina –

condição necessária para uma visão perfeita. Dessa forma,

Em um olho humano normal, os raios luminosos entram a distância (D) da imagem ao cristalino deve ser sempre a_1

pela pupila, atravessam a córnea, o cristalino, a parte central mesma, qualquer que seja a distância do objeto ao olho. Ou

do olho e se encontram na retina – região fotossensível –, seja, D depende apenas do tamanho do olho do observador. a_1 sobre a qual a imagem, para uma visão perfeita, deve ser Em média, essa distância é de 2,5 cm. formada. Ou seja, no olho, a imagem é projetada sobre a

retina, sendo real e invertida. O funcionamento do olho é A imagem projetada sobre a retina é real ($D > 0$). a_1

semelhante ao de uma máquina fotográfica. A pálpebra, Qualquer que seja a distância do objeto ao olho, a equação

equivalente ao obturador, abre e fecha para permitir a de Gauss deve ser respeitada. Assim, a distância focal (f)

entrada de luz. e a vergência (V) do cristalino variam de acordo com a

mudança da distância do objeto ao olho (D). Lembre-se de o

A córnea, uma película curva, transparente e localizada na que a vergência (V) é inversamente proporcional à distância

parte anterior do olho, é responsável pela primeira e maior focal (f), $V = 1/f$. Veja, na equação de Gauss a seguir,

parte da refração da luz que vem do exterior. que a distância focal do cristalino varia conforme a distância

A função da pupila – canal existente na íris – é controlar do objeto ao olho, que também varia.

a quantidade de luz que chega ao cristalino, de modo a $1/f \leftarrow = +$ Constante positiva permitir uma visualização adequada dos objetos. Em relação f D D a uma máquina fotográfica, ela é equivalente ao diafragma. o I

64 Coleção Estudo

Instrumentos ópticos

Dessa forma, o cristalino apresenta uma distância focal **DEFEITOS DE VISÃO**

para cada posição do objeto. A alteração provocada pelo

músculo ciliar sobre o cristalino é chamada de **acomodação**

visual. Observe, na tabela que se segue, as alterações que Todo órgão ou sistema do corpo humano é susceptível a

ocorrem nas grandezas com a mudança da posição do objeto. apresentar anomalias, e o olho não foge à regra. As causas

para os defeitos de visão são várias, mas vamos citar

O objeto em relação ao olho apenas três. Uma delas é a deformidade do globo ocular, que pode ser alongado ou encurtado além do que deveria.

Aproxima Afasta

Outra causa é a curvatura da córnea além ou aquém do

Do Diminui Aumenta normal. E, por último, o elevado ou baixo índice de refração

f das estruturas que formam o olho, particularmente da córnea Diminui Aumenta

e do cristalino. Assim, o sistema ocular é mais ou menos

V Aumenta Diminui convergente do que o necessário. Quaisquer dessas causas

Cristalino Mais convergente fazem com que a imagem se forme antes ou depois da Menos convergente

(mais curvo) (menos curvo) retina, respectivamente. Os defeitos de visão mais comuns,

que podem ser minimizados com o uso de lentes esféricas,

Se o objeto está no “infinito” (muito afastado do olho),

são: miopia, hipermetropia e presbiopia (“vista cansada”).

a distância focal é máxima, e o músculo ciliar está totalmente

relaxado (sentimos o menor esforço visual para enxergar Duas importantes posições do objeto, em relação ao

um objeto). Nesse caso, o foco do cristalino está sobre olho, são o Ponto Próximo (PP) e o Ponto Remoto (PR).

a retina. À medida que o objeto se aproxima do olho, Elas correspondem à menor e à maior distância a

o esforço muscular sobre o cristalino aumenta, comprimindo-o.

que um objeto pode se encontrar em relação ao olho,

Assim, existe uma posição do objeto em relação ao olho,

respectivamente, para uma visão perfeita da imagem do

próxima a este, na qual o músculo ciliar exerce a sua

maior

compressão. Se o objeto for aproximado do olho além objeto. desse ponto, o olho perde a capacidade de focalizá-lo.

Nessa situação, o cristalino apresenta a menor distância focal **MIOPIA** possível e, conseqüentemente, a maior vergência.

formar uma imagem nítida, é chamado de **ponto remoto (PR)**, **convergente** do que deveria, apresentando uma distância **FÍSICA** e sua distância ao olho é conhecida como distância **máxima** O ponto mais distante do olho, em que este é capaz de O olho míope, por qualquer das causas citadas, é **mais**

focal pequena em relação aos olhos normais. Assim, os de visão perfeita. Numa pessoa de visão normal, o PR tende ao infinito. O ponto mais próximo ao olho, para o raios luminosos que entram no olho convergem muito e

qual este forma uma imagem nítida, é conhecido como a imagem se forma antes da retina; logo, não apresenta

ponto próximo (PP). A sua distância ao olho é chamada de nitidez suficiente. Nesse caso, a imagem deve ser afastada

distância **mínima** de visão perfeita. Essa distância

varia com do cristalino para melhorar a sua visualização. Isso é

a idade e de uma pessoa a outra. Nos adultos, em média, conseguido, sem correção, aproximando os objetos do olho.

o ponto próximo (PP) está a 25 cm do olho. Assim, o olho Logo, a pessoa com miopia enxerga muito bem os objetos de uma pessoa de visão normal consegue formar imagens próximos ao seu olho. Ou seja, o ponto próximo (PP) de um nítidas de objetos colocados no intervalo entre o infinito (PR) olho míope encontra-se mais perto deste do que o ponto e 25 cm do olho dessa forma (PP). Esse intervalo é a **zona**

de acomodação. próximo de um olho normal.

Vamos determinar a vergência (V) do cristalino para os O problema do míope está no ponto remoto (PR), que

extremos da zona de acomodação. Considere que o tamanho é mais perto do olho deste do que deveria ser. Ou seja,

imagem se forma sobre a retina, $D = 0,025 \text{ m}$. Considere, dele. Para um objeto no “infinito”, por mais que o cristalino ainda, que o ponto próximo (PP) esteja a 25 cm ou 0,25 m do míope esteja relaxado (distância focal grande), a imagem do globo ocular seja 2,5 cm, ou seja, 0,025 m. Como a o míope

enxerga muito mal os objetos que estão afastados do olho.

→

$V = 1/f = (1/D)$ A correção visual da miopia, por meio de óculos e para) $+ (1/D) = 0 + (1/0,025)$ o
 i objetos afastados, é feita com lentes divergentes, uma vez $V = 40 \text{ di} = 40$ “graus” que o olho míope é muito convergente. A miopia é o defeito **Objeto no ponto remoto (PR)**: D e $(1/D)$ o se forma antes da retina. $\rightarrow \infty 0$ o

Objeto no ponto próximo (PP): $D = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$ o visual mais comum na população. Veja a seguir.

$V = 1/f = (1/D) + (1/D) = (1/0,25) + (1/0,025)$ o i

$V = 44 \text{ di} = 44$ “graus” Lente divergente Imagem A
 variação da vergência entre os valores anteriores

$(\Delta V = 4 \text{ di})$ é chamada de **amplitude de acomodação**. Assim, o olho humano normal varia a sua vergência em

4 “graus” ao mudar a focalização de um objeto que estava

Miopia Miopia corrigida

muito longe para outro que estava muito perto dele.

Editora Bernoulli 65

Frente C Módulo 06

Hipermetropia No olho da pessoa com presbiopia, o músculo ciliar, responsável pela focalização das imagens sobre a retina, vai perdendo a

O olho hipermetrope, por qualquer que seja a causa, capacidade de comprimir o cristalino da forma necessária. Assim,

é **menos convergente** do que o necessário e, assim, quem possui presbiopia perde, principalmente, a capacidade

a sua distância focal é grande em relação a dos olhos de enxergar objetos próximos ao olho. Nesse caso, o olho da

normais. Dessa forma, os raios luminosos que entram no pessoa com presbiopia tem iguais funcionamento e correção

que o olho da pessoa com hipermetropia – lentes convergentes.

olho convergem pouco. Consequentemente, a imagem

Em alguns casos, além de perder elasticidade, o músculo

se forma atrás (depois) da retina e não apresenta nitidez

ciliar se deforma. Nesse caso, o cristalino fica impedido de

normal. Portanto, para melhorar a visualização do objeto,

relaxar da mesma forma que antes e passa a não focalizar

é necessário aproximar a imagem do cristalino. objetos muito distantes. Para pessoas com tais características,

Se o objeto está muito afastado do hipermetrópe são necessários dois pares de óculos, um para “perto”

(D é grande) e o cristalino deste está totalmente relaxado, (com lentes convergentes) e outro para “longe” (com lentes

a imagem do objeto se forma atrás da retina (cristalino converge divergentes) ou um par de óculos “bifocal ou multifocal”.

pouco). Para resolver essa situação, o hipermetrópe pode, Assim, o olho com presbiopia pode não ter o ponto remoto (PR)

simplesmente, acomodar a sua visão (forçando os músculos no infinito, mas seu ponto próximo (PP), seguramente, está

mais distante do olho do que o de um olho normal.

ciliares), de modo a diminuir a distância focal de seu

olho e,

consequentemente, trazer a imagem para a retina.
Veja a seguir as posições dos pontos remoto (PR) e

Nas situações em que essa adaptação oferece
desconforto próximo (PP) e a zona de acomodação ZA
(em vermelho)

visual para o paciente, o médico pode receitar a ele
óculos para os diversos tipos de pessoas, sem a
correção visual.

com lentes convergentes para a visualização de
objetos O ponto próximo, para um olho normal,
encontra-se,

em média, a 25 cm do observador.

distantes. Veja a seguir.

PP ZA PR

Imagem Normal ∞ 25 cm



PP ZA PR



Lente convergente ∞ Míope

Hipermetropia Hipermetropia corrigida

PP ZA PR

O grande problema do hipermetrópe, entretanto,
está na ∞ Hipermetrópe

visualização de objetos próximos ao olho. Se D é pequeno o PP ZA PR e o olho converge pouco a luz que chega a ele (distância Presbita ∞ focal grande), a imagem do objeto se forma atrás da retina por maior que seja o esforço de acomodação do músculo Vale a pena destacar que a miopia, a hipermetropia e a

presbiopia podem ser tratadas cirurgicamente,
geralmente,

ciliar. Ou seja, o hipermetrope não enxerga bem objetos

por meio de pequenas incisões radiais na córnea do
paciente

próximos a ele, pois seu ponto próximo (PP) se encontra

de modo a alterar a sua curvatura e, por conseguinte, mais distante dele do que o ponto próximo de uma pessoa de a distância focal do conjunto ocular. visão perfeita. Sem correção visual, o hipermetrope costuma

Outro defeito de visão bastante comum é o
astigmatismo.

afastar o objeto do seu olho. Assim, o hipermetrope tem

Ele ocorre devido a uma curvatura irregular da córnea
ou do

de contar com a correção de lentes convergentes para a

cristalino, que perde a esfericidade, ficando mais ou

visualização de objetos próximos ao seu olho. Veja a seguir. convergente em algumas regiões das suas faces. Isso faz com

que múltiplas imagens (do mesmo objeto) se formem sobre a

Imagem retina, o que provoca a sensação de uma imagem “borrada”.

Tal defeito é corrigido com lentes cilíndricas, não discutidas

em nossa Coleção. Existem outros defeitos de visão que as

Lente convergente

lentes não corrigem e, por isso, não foram citados.

Hipermetropia Hipermetropia corrigida

Veja um resumo dos defeitos de visão e suas respectivas

O ponto remoto (PR) do hipermetrope, geralmente, correções:

continua no infinito.



Doença Problema Correção

Presbiopia Imagem se forma Miopia Lentes divergentes
antes da retina

A presbiopia, ou “vista cansada”, na análise da Lentes
convergentes Hipermetropia Imagem se forma atrás da retina

fisiologia humana, não é considerada um “defeito de
Imagem se forma Presbiopia Lentes convergentes visão”. É uma
situação natural e espontânea que ocorre atrás da retina

em consequência do envelhecimento e que atinge a
Esfericidade irregular Astigmatismo Lentes cilíndricas do globo ocular
maioria das pessoas com idade acima dos quarenta

Instrumentos ópticos

MICROSCÓPIO SIMPLES (OU Essa imagem está posicionada entre a ocular e o foco desta. Assim, a ocular funciona como uma lupa e forma, a partir da

LUPA) E ESPELHO DE AUMENTO primeira imagem, uma segunda imagem (I_2), que é virtual, I_2 maior que a primeira imagem e direta em relação a esta,

A lupa e o espelho de aumento você já conhece. A lupa mas invertida em relação ao objeto. A figura a seguir mostra

é uma lente convergente utilizada para observar um objeto a formação da imagem em um microscópio composto. colocado entre ela e seu foco. O espelho de aumento é um Observador espelho côncavo utilizado para observar um objeto que deve Objetiva Ocular Objeto ser posicionado entre o espelho e seu foco. Nos dois casos, I_1

as imagens formadas são virtuais e maiores que o objeto. $F > F_1$ $OB > OB_1$ $OC > OC$ A imagem formada pela lente não apresenta inversão vertical e nem lateral, o que permite ler um texto com letras muito

pequenas ou observar, com mais detalhes, as partes de uma I_2

flor ou de um inseto, por exemplo. A imagem formada pelo

espelho de aumento, usado em maquiagem, por exemplo,

é direta, mas apresenta inversão lateral. Quando você se

observa num espelho de aumento, a orelha direita parece A ampliação fornecida pelo microscópio é o produto das

ser a orelha esquerda. ampliações fornecidas por cada lente individualmente.

Se a objetiva produz um aumento de 80 vezes, e a ocular, de

20 vezes, a ampliação total do microscópio é de 1 600 vezes.

Objeto Num microscópio óptico, conseguimos ampliar um objeto

O F até 2 000 vezes, o que nos permite observar, com nitidez, I_1

F V Imagem Objeto Imagem a maioria das estruturas vivas da natureza. Para ampliações



maiores que essa, usamos um microscópio eletrônico,
que



Observador Observador trabalha com um feixe de elétrons,
e não com feixes de luz.

O microscópio eletrônico nos permite ampliações
próximas

A ampliação linear (A) desses dispositivos aumenta
com de 1 milhão de vezes e com ele podemos
observar a estrutura

a redução da distância focal. No entanto, diminuir
muito a de um vírus, por exemplo. O funcionamento
do microscópio **FÍSICA**

distância focal significa diminuir bastante os raios de
curvatura eletrônico foge aos objetivos de nosso
estudo. do espelho ou das faces da lente. Isso faz com
que esses

instrumentos não mais obedeçam às condições de
Gauss e **TELESCÓPIOS** comecem a gerar
imagens distorcidas. Por esse motivo, não

se consegue grandes ampliações com tais aparelhos.

Os telescópios são instrumentos utilizados para a observação de objetos muito distantes da Terra, como

MICROSCÓPIO OU MICROSCÓPIO

planetas e estrelas. A imagem formada por esses instrumentos não é ampliada, mas se coloca bem perto

COMPOSTO do observador. Por esse motivo, a imagem fornecida pelo

telescópio é maior do que a imagem do objeto que seria vista

sem o instrumento. Os telescópios podem ser classificados

O microscópio é um equipamento projetado para fornecer em refratores ou refletores.

grande ampliação para pequenos objetos. Ele é composto

de duas lentes convergentes: a objetiva (que fica próxima **Telescópio refrator ou luneta**

do objeto a ser ampliado) e a ocular (que fica perto do olho **astronômica** do observador). A figura a seguir mostra um microscópio

muito usado em laboratórios escolares.

A luneta astronômica foi aperfeiçoada por Galileu,



em 1609, e este a utilizou para observar a Lua, os planetas



Ocular do Sistema Solar e algumas luas de Júpiter. Por meio da

observação dessas luas, Galileu pôde constatar que a

Objetiva velocidade da luz era muito grande, mas não infinita. A luneta

possui duas lentes: a objetiva (que recebe a luz do astro) e a

ocular (por onde o operador vai observar a imagem do astro).

Em algumas lunetas, a luz refratada pela objetiva vai de

encontro à ocular por meio da reflexão num pequeno espelho

O objeto a ser observado em um microscópio deve ser plano. A ocular, que recebe a luz refletida, forma uma imagem

colocado a uma distância da objetiva que seja maior que a focal virtual, invertida em relação ao astro e bem próxima

distância focal dela, mas próximo ao foco. A objetiva forma do observador. O esquema simplificado de funcionamento

uma imagem real (I), invertida e ampliada do objeto. e uma foto da luneta astronômica são mostrados a seguir. ¹

Editora Bernoulli 67

Frente C Módulo 06

PROJET



Observador



Ocular Qualquer tipo de projetor produz uma imagem, geralmente Objetiva

maior que o objeto, que deve ser vista em uma tela.

Objeto Assim, a imagem formada deve ser real e invertida, tanto no

Espelho infinito na vertical quanto na horizontal. Para o seu funcionamento

plano ^{sxc} básico, basta uma única lente convergente, uma fonte de luz e

o objeto a ser projetado. Para se obter uma imagem ampliada,

O binóculo e o periscópio, citados como aplicações da o objeto deve estar próximo ao foco da lente, numa distância

reflexão total, formam imagens da mesma maneira que um um pouco maior que a distância focal dela. Existem vários

telescópio refrator. tipos de projetores, com características particulares e com

diversos acessórios que servem para melhorar a qualidade

A luneta, como visto anteriormente, não se aplica a da imagem projetada. O esquema a seguir mostra, de forma

observações de astros muito distantes, como as estrelas,

simplificada, o funcionamento de um projetor de *slides* por exemplo. A luz emitida por elas chega com baixa

(o objeto). A fonte de luz fica no foco do espelho de modo a

intensidade à Terra e, portanto, para formar imagens de proporcionar uma maior luminosidade no *slide*.

Observe que

boa qualidade, seria necessário que a objetiva fosse muito a imagem projetada é invertida. grande.

Consequentemente, uma lente desse tipo seria

muito espessa. Assim, essa lente não seria delgada, e as

condições de Gauss não se aplicariam a ela. Devido a essa

limitação, Newton, em 1668, desenvolveu o telescópio Fonte de Luz refletor, discutido a seguir.

Telescópio refletor ou telescópio *slide*

Espelho Lente Tela

O telescópio refletor, ou simplesmente telescópio, usa um

grande espelho parabólico côncavo no lugar da lente objetiva Todos os instrumentos artificiais citados anteriormente

da luneta. Os telescópios do Monte Palomar (Califórnia), possuem lentes muito potentes (grande vergência)

os Keck (Havaí) e o do LNA (Laboratório Nacional de e capazes de formar imagens de grande qualidade.

Astrofísica, Itajubá-MG) têm espelhos com diâmetros, Nessas lentes, as aberrações esférica e cromática são

respectivamente, de 5,0 m, 10 m e 1,6 m. Quanto maior pronunciadas. Dessa forma, todos os instrumentos são

o tamanho do espelho, mais luz ele consegue coletar e, equipados com um ou mais conjuntos de lentes, formados

consequentemente, poderá produzir imagens de objetos por vários tipos de lentes associadas, em vez de uma única

muito distantes. O mais famoso telescópio refletor da lente. Esses conjuntos e uma série de outros acessórios

atualidade é o Hubble (em órbita da Terra, numa altitude têm o objetivo de eliminar, dentro do possível, o efeito

de 589 km), que tem um espelho de 2,4 m de diâmetro. nocivo das aberrações.

O funcionamento, simplificado, de um telescópio refletor se

EXERCÍCIO RESOLVIDO

dá da seguinte maneira: a luz emitida por uma estrela, por

exemplo, incide no grande espelho parabólico do telescópio **01**. Um médico oftalmologista receita, para um paciente (que faz a função da lente objetiva no telescópio refrator)

e é refletida por ele. A luz refletida pelo espelho parabólico que possui miopia num dos olhos e hipermetropia no

vai de encontro a um segundo espelho, que pode ser plano outro, lentes com as vergências, exclusivas, de $+3,0$ di

ou convexo, e é novamente refletida, agora em direção a (olho direito) e $-2,0$ di (olho esquerdo).

uma lente convergente – a ocular –, por meio da qual

O A) Associar cada olho com o respectivo defeito visual.

observador vai analisar a imagem final formada pelo aparelho. B) Determinar a distância do ponto remoto (PR) até o

Atualmente, as imagens da ocular são enviadas para um paciente para o olho com miopia. sistema

computadorizado que fornece a imagem nas telas de C) Determinar a distância do ponto próximo (PP) até o

um computador ou as envia para qualquer lugar do mundo. paciente para o olho com hipermetropia. A figura a seguir mostra o esquema do telescópio de Newton.

Veja também a fotografia de um telescópio refletor.

Resolução:

A) As pessoas com hipermetropia devem usar lentes



convergentes e as pessoas com miopia devem usar lentes



divergentes. As distâncias focais e vergências, das lentes



convergentes e divergentes são, respectivamente, positiva

e negativa. Assim, o olho direito ($+3,0$ di) apresenta



hipermetropia, e o esquerdo ($-2,0$ di) sofre de miopia.

..

B) No olho míope, o ponto remoto fica próximo do olho e,

■

xc por esse motivo, o míope não focaliza objetos distantes.

s

68 Coleção Estudo

Instrumentos ópticos

Dessa forma, a lente a ser usada deve ser capaz de formar, **02.** (UFU-MG) Assinale a alternativa **FALSA**. para objetos no “infinito”, imagens no ponto remoto do

A) O cristalino do olho de uma pessoa de visão normal

míope, ou seja, $PR = -D_I$ (a imagem é virtual, pois a lente age como uma lente convergente que produz uma

é divergente). Essa imagem servirá de objeto para o olho

imagem real, invertida e aumentada quando a pessoa

do paciente. Como $D_o \rightarrow \infty$, $(1/D_o) \rightarrow 0$. Assim, temos: observa um objeto distante.

V 1 1 1 1 B) Uma pessoa com visão normal, à medida que se $= + \Rightarrow - = + 20 \Rightarrow D_I = - 0,50$, m f D D D O II aproxima de um objeto, tem o raio de curvatura

Dessa forma, $PR = -D$ de seu cristalino diminuído para que ela continue $= 50$ cm. Ou seja, o ponto remoto I

fica a 50 cm do olho esquerdo. Assim, esse olho, sem os focalizando o objeto. óculos, não enxerga objetos mais distantes que 50 cm. C) A variação do diâmetro da pupila tem como objetivo

Curiosidade: Se você é míope, procure perceber a controlar a entrada de luz no olho.

maior distância que consegue enxergar sem óculos. D) Para a correção da hipermetropia, é necessária a

Com essa medida e a solução anterior, você pode utilização de lentes convergentes. descobrir o “grau” da sua lente.

C) No olho hipermétrope, o ponto próximo está mais

03. (Cesgranrio) Dispondo de três lentes, L_1 , L_2 e L_3 , um

distante do olho em relação ao olho normal e, por esse estudante deseja construir um microscópio composto de

motivo, o hipermétrope não focaliza objetos próximos apenas duas lentes (uma objetiva e a outra ocular). a ele. Dessa forma, a lente a ser usada por ele deve ser As características das três lentes disponíveis são: capaz de formar, para objetos a 25 cm do olho (distância

mínima de visão perfeita), imagens no ponto próximo do

Lente Tipo Distância focal

hipermétrope. Assim, $D_o = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$ e $PP = -D_1$ L₁
Convergente $+2,0 \text{ cm}$ (a imagem é virtual, pois deve ficar
mais distante do

olho e, por isso, do mesmo lado que o objeto em relação L₂
Convergente $+10,0 \text{ cm}$

à lente). Essa imagem servirá de objeto para o olho do L₃
Divergente $-5,0 \text{ cm}$ paciente. Assim, temos:

V = = 1 1 1 1 1 Escolha, entre as alternativas a seguir, a objetiva e a
 $+ \Rightarrow 3 = + \Rightarrow D_1 = -10$, m ocular que devem ser utilizadas.

f D D 0 25 , D o I **FÍSICA**

Dessa forma, $PP = -D_1$ **Objetiva Ocular** = $1,0 \text{ m}$. Ou seja,
o ponto próximo

fica a $1,0 \text{ m}$ do olho direito. Assim, esse olho, sem os A) L₁
L₂ óculos, não enxerga objetos mais próximos que 100 cm .
B) L₁ L₃

C) L₂ L₁

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO D) L₂ L₃ E) L L₃₁

01. (ITA-SP) Dois estudantes se propõem a construir, cada um **04.**
(UFRN) O telescópio refrator é um sistema óptico

deles, uma câmara fotográfica simples, usando uma lente
constituído, basicamente, de duas lentes: a objetiva, cuja

convergente como objetiva e colocando-a numa caixa função é
formar uma imagem real e reduzida do objeto em

fechada, de modo que o filme esteja no plano focal da observação, I
, nas proximidades do foco, F' , e a ocular, 1 1

lente. O estudante A utilizou uma lente de distância focal que usa essa imagem como objeto, nas proximidades de

igual a 4,0 cm, e o estudante B, uma lente de distância seu foco, F , para formar uma imagem virtual e ampliada, I_2

focal igual a 1,0 m. Ambos foram testar suas câmaras Esta última é a imagem do objeto vista pelo observador.

fotografando um objeto situado a 1,0 m de distância das A figura a seguir representa um desses telescópios, no

respectivas objetivas. Desprezando-se todos os outros qual as duas lentes se acham localizadas nas posições

efeitos (tais como aberrações das lentes), o resultado da correspondentes aos retângulos X e Y.

experiência foi Observador

II. que ambas estavam igualmente “em foco”. $F_2 I_1 X Y$ III. que as imagens sempre estavam entre o filme e a I lente. I. que a foto do estudante A estava mais “em foco” que Raios luminosos a do estudante B. provenientes de $F F'$ 21 um objeto distante 2

Nesse caso, você concorda que As lentes objetiva X e ocular Y que **MELHOR** se adaptam

- A) apenas a afirmativa II é verdadeira. a esse telescópio devem ser
- B) somente I e III são verdadeiras. A) ambas convergentes.
- C) somente III é verdadeira. B) ambas divergentes.
- D) somente a afirmativa I é verdadeira. C) respectivamente convergente e divergente.
- E) não é possível obter uma fotografia em tais condições. D) respectivamente divergente e convergente.

Frente C Módulo 06

05. (UFRJ) Um projetor de diapositivos (*slides*) possui **03.** (Fatec-SP) Na figura, o homem A é visto pelo homem B,

um sistema de lentes cuja distância focal é ajustável. representado pelo olho em corte. À medida que A se

Um diapositivo é colocado na vertical, a 125 cm de aproxima de B, e supondo que o olho é normal,

distância de uma parede também vertical. O eixo principal

do sistema de lentes é horizontal. Ajusta-se a distância A B

focal do sistema e obtém-se, projetada na parede, uma

imagem nítida do diapositivo, com suas dimensões

lineares ampliadas 24 vezes.

A) O sistema de lentes do projetor é convergente ou Cristalino divergente? **JUSTIFIQUE** sua resposta.

A) a curvatura do cristalino aumenta para aumentar a

B) Para que valor foi ajustada a distância focal do distância focal.

sistema? B) a curvatura do cristalino diminui para diminuir a

distância focal.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS C) a curvatura do cristalino não se altera porque o olho

é normal.

D) a curvatura do cristalino aumenta para diminuir a

01. distância focal. (UFMG) Rafael, fotógrafo lambe-lambe, possui uma

câmara fotográfica que consiste em uma caixa com um E) a curvatura do cristalino diminui para aumentar a

orifício, em que é colocada uma lente. Dentro da caixa, distância focal.

há um filme fotográfico, posicionado a uma distância

ajustável em relação à lente. **04.** (PUC-SP-2010) O olho humano pode ser entendido

como um sistema óptico composto basicamente de duas

Essa câmara está representada, esquematicamente,

na figura que se segue. Para produzir a imagem nítida lentes – córnea (A) e cristalino (B). Ambas devem ser

transparentes e possuir superfícies lisas e regulares para

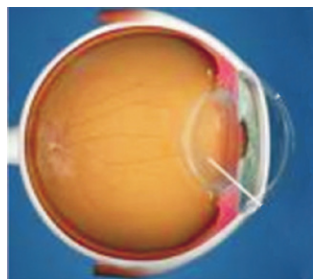
de um objeto muito distante, o filme deve ser colocado

na posição indicada pela linha tracejada. No entanto, permitirem a formação de imagens nítidas. Podemos

classificar as lentes naturais de nossos olhos, A e B,

Rafael deseja fotografar uma vela que está próxima a

essa câmara. Para obter uma imagem nítida, ele, então, respectivamente, como sendo



move o filme em relação à posição descrita. A

Assinale a alternativa cujo diagrama **MELHOR** representa a posição do filme e a imagem da vela que é projetada nele.

Lente B

A) convergente e convergente.

B) convergente e divergente.

Filme

C) divergente e divergente.

A) C) D) divergente e convergente.

E)
divergente
e
plana.

B) **05.** (UFMG) Dois defeitos visuais bastante comuns no ser humano são a miopia e a hipermetropia. Num olho míope, a imagem é formada antes da retina enquanto, num olho

Filme hipermetrópe, a imagem é formada depois da retina. Filme

Na figura, estão representados três raios de luz emergindo

02. (FCMMG) Um aluno quer substituir a lente de uma de uma fonte localizada em P, passando pelas lentes

máquina fotográfica simples. Ele consegue as seguintes delgadas L_1 e L_2 e atingindo Q.

lentes de óculos usadas:

H_1 = lente com pequena distância focal de pessoa com P Q hipermetropia.

H_2 = lente com grande distância focal de pessoa com hipermetropia. L_1 L_2

M_1 = lente com pequena distância focal de pessoa com Com relação às lentes L e L , a afirmativa **CORRETA** é: 1 2 miopia.

M A) L e L podem corrigir hipermetropia. 2 = lente com grande distância focal de pessoa com 1 2

miopia. B) L_1 e L_2 podem corrigir miopia.

A lente escolhida para a substituição seria C) L_1 pode corrigir hipermetropia, e L_2 , miopia.

A) H_1 . B) H_2 . C) M_1 . D) M_2 . D) L pode corrigir miopia, e L , hipermetropia. 1 2

70 Coleção Estudo

Instrumentos ópticos

06. (FUVEST-SP) Uma pessoa idosa que tem hipermetropia e Analisando as afirmativas, conclui-se que somente estão

presbiopia foi a um oculista que lhe receitou dois pares de **CORRETAS**

óculos, um para que enxergasse bem os objetos distantes A) I e II. C) III e IV. E) I, III e IV.

e outro para que pudesse ler um livro a uma distância B) II e III. D)

I, II e III.

confortável de sua vista.

• **Hipermetropia:** a imagem de um objeto distante se

09. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche

forma atrás da retina. **CORRETAMENTE** as lacunas do seguinte texto:

• **Presbiopia:** o cristalino perde, por envelhecimento, a capacidade de acomodação, e objetos próximos não desse nitidamente um objeto quando a imagem

objeto se forma sobre a retina.

são vistos com nitidez. Em pessoas míopes, a imagem se forma à frente da

• **Dioptria:** a convergência de uma lente, medida em retina. Em pessoas hipermetropes, os raios luminosos são

dioptrias, é o inverso da distância focal (em metros) interceptados pela retina antes de formarem a imagem

da lente. (diz-se, então, que a imagem se forma atrás da retina).

Considerando que receitas fornecidas por oculistas Pessoas míopes devem usar óculos com lentes

utilizam o sinal mais (+) para lentes convergentes e _____, e pessoas hipermetropes devem

usar óculos com lentes _____.

menos (-) para divergentes, a receita do oculista para

A) convergentes – biconvexas

um dos olhos dessa pessoa idosa poderia ser

B) convergentes – divergentes

A) para longe: -1,5 dioptrias; para perto: + 4,5 dioptrias.

C) plano-convexas – divergentes

B) para longe: $-1,5$ dioptrias; para perto: $-4,5$ dioptrias.

D) divergentes – bicôncavas

C) para longe: $+4,5$ dioptrias; para perto: $+1,5$ dioptrias. E) divergentes – convergentes

D) para longe: $+1,5$ dioptrias; para perto: $-4,5$ dioptrias.

E) para longe: $+1,5$ dioptrias; para perto: $+4,5$ dioptrias. **10.** (VUNESP) Assinale a alternativa **CORRETA**.

A) Quando alguém se vê diante de um espelho plano,

07. (FCMMG) Numa das operações a *laser* para diminuir os a imagem que observa é real e direita.

problemas da visão, o médico afinou o cristalino do olho B) A imagem formada sobre o filme, nas máquinas

de um paciente, como mostram as figuras a seguir. fotográficas, é virtual e invertida. **FÍSICA**

Cristalino em corte C) A imagem que se vê quando se usa uma lente

Antes da cirurgia convergente como “lente de aumento” (lupa) é virtual Depois da cirurgia e direita.

D) A imagem projetada sobre uma tela por um projetor de *slides* é virtual e direita.

E) A imagem de uma vela formada na retina de um olho

Com relação a essa cirurgia, pode-se afirmar que humano é virtual e invertida.

A) a pessoa sofria de hipermetropia.

B) o índice de refração do cristalino diminuiu. **11.** (UFF-RJ) A

figura representa o esquema simplificado de

um projetor de *slides*, em que S é um *slide*, I o dispositivo

C) a distância focal do cristalino aumentou. que o ilumina, L uma lente e T a tela de projeção.

D) a imagem dos objetos vistos pela pessoa passou a se

formar a uma distância menor. L S I

08. (PUC RS) Considere as afirmações a seguir, que se referem

ao globo ocular humano. $x = 6,0 \times 10^2$ cm T

I. O olho emétrepe, ou normal, deve ser capaz de

focalizar na retina objetos localizados no infinito, $2,6 \times 10^2$ cm. Sabe-se que a distância (x) entre o *slide* e a tela é ou seja, a grandes distâncias, sem acomodação do ampliada 59 vezes. cm e que a imagem projetada na tela (i) é cristalino.

II. O olho emétrepe deve ser capaz de focalizar na retina, A) a lente é divergente e sua distância focal é, sem qualquer esforço de acomodação, objetos que Nessa situação, conclui-se que

aproximadamente, $5,9 \times 10^2$ cm.

se encontram na distância mínima de visão distinta,

que é de 25 cm. aproximadamente, 59 cm. B) a lente é convergente e sua distância focal é,

III. Na miopia, os raios de luz paralelos que incidem no C) a lente é convergente e sua distância focal é,

globo ocular são focalizados antes da retina, e a sua aproximadamente, $5,9 \times 10^2$ cm. correção é feita com lentes divergentes. D) a lente é convergente e sua distância focal é,

IV. Na hipermetropia, os raios de luz paralelos que incidem aproximadamente, 9,8 cm.

no globo ocular são focalizados depois da retina, E) a lente é divergente e sua distância focal é, e sua correção é feita com lentes convergentes. aproximadamente, 9,8 cm.

Editora Bernoulli 71

Frente C Módulo 06

12. (UFLA-MG) O funcionamento de uma máquina fotográfica Nesse caso, modificam apenas o valor do raio externo R_1 .

é semelhante ao do olho humano. Quando o olho humano Outra possibilidade para a correção da miopia é a

está fixado em um objeto distante, o músculo ciliar indicação do uso de óculos. Admita que a figura a seguir

relaxa e o sistema córnea-cristalino atinge sua máxima represente a córnea de um paciente cujo exame

distância focal, que corresponde à distância da córnea à oftalmológico apresentou uma determinada miopia. Com

retina. Quando o objeto está próximo ao olho humano, o objetivo de corrigir a miopia, o médico pode

o músculo ciliar se contrai e aumenta a curvatura do

cristalino, diminuindo, assim, a distância focal até que R_1 Eixo

o objeto seja focalizado corretamente na retina, sendo R_2

esse processo chamado de acomodação. Considerando

a máxima distância focal 2,5 cm, pode-se afirmar que a Representação esquemática

variação da distância focal da córnea Δf do sistema córneo-cristalino

do olho, para manter em foco um objeto que é deslocado A) intervir cirurgicamente diminuindo o raio R_1 da

do infinito até um ponto próximo padrão de 25 cm, é córnea ou indicar óculos com lentes convergentes

apropri

A) +2,5/11 cm. C) -2,5/11 cm. E) 0.

B) intervir cirurgicamente diminuindo o raio R_1 da córnea

B) 2,27 cm. D) -2,27 cm. ou indicar óculos com lentes divergentes apropriadas.

C) intervir cirurgicamente aumentando o raio R_1 da

13. córnea ou indicar óculos com lentes convergentes (UFJF-MG) De acordo com especialistas, para que o

olho humano possa distinguir dois objetos puntiformes apropriadas.

de cada um deles se forme na retina em cones separados córnea ou indicar óculos com lentes divergentes apropriadas. por pelo menos um cone, como ilustra a figura seguinte. situados próximos um do outro, é preciso que a imagem D) intervir cirurgicamente aumentando o raio R_1 da

Admita que a distância entre dois cones adjacentes seja **15.** (UFRN) O escritor Arthur Conan Doyle, criador do mais

igual a $1 \mu\text{m}$ ($= 10^{-6} \text{ m}$) e a distância entre a córnea e

famoso detetive do mundo, Sherlock Holmes, despertou

a retina seja de 2,5 cm. De acordo com isso, qual é a

o interesse dos leitores descrevendo as habilidades

maior distância d em que é possível distinguir objetos

desse investigador em solucionar mistérios por meio de

puntiformes separados por 1 cm?

seu apurado senso de observação e dedução. Assuma a

1 cm postura de Sherlock Holmes e analise a situação descrita

d Retina a seguir. 2,5 cm Após uma ação criminosa numa casa de espetáculos,

θ 1 o assaltante deixou cair no local do crime seus óculos de μ m

1 μ m grau. A descrição feita por uma testemunha levou à prisão

imediate de um suspeito. Ele usava camisa vermelha,

A) 25 m e exames revelaram ser portador de miopia em alto grau. C) 10 cm E) 2,5 m

Segundo o depoimento da testemunha, os seguintes

B) 125 m D) 30 m

pontos devem ser levados em conta:

- os óculos encontrados pela polícia possuíam lentes

14. (UFRN) A miopia é um defeito da visão originado por convergentes;

excessiva curvatura da córnea. Na fantástica estrutura que • o criminoso usava camisa vermelha e óculos de grau

compõe o olho humano, a córnea representa um elemento que faziam seus olhos parecerem maiores;

fundamental no processo de formação de imagem, • no momento em que a testemunha observou o

sendo uma espécie de lente delgada convexo-côncava criminoso, a iluminação ambiente era verde;

que – admitiremos – satisfaz a equação dos fabricantes • a miopia é consequência de a focalização das imagens

de lentes apresentada a seguir. acontecer antes da retina.

Baseando-se nas afirmações dadas, pode-se afirmar que

Equação dos fabricantes de lentes:

o suspeito não é culpado, pois

1 $\left(\frac{1}{f} \right) = \frac{n_2}{R_2} - \frac{n_1}{R_1}$ A) uma pessoa míope estaria usando óculos com lentes $n = 1,5$ e $f = -10$ cm. divergentes e, em face da iluminação, a testemunha $f = 10$ cm. R $\left(\frac{1}{f} \right) = \frac{n_2}{R_2} - \frac{n_1}{R_1}$ teria visto o acusado de camisa preta.

Em que f : distância focal; n : índice de refração; R B) apesar de as lentes serem convergentes, óculos para e R $1,2$ miopia não ampliam a imagem do olho da pessoa que são raios de curvatura das faces da lente, cuja convenção os está usando com as lentes apropriadas. de sinais é: faces convexas, raio positivo e faces côncavas, C) uma camisa vermelha, iluminada por luz verde, raio negativo. pareceria amarela; já os olhos de uma pessoa míope

O olho míope induz no cérebro a percepção de imagem parecem menores se ela estiver usando lentes

sem nitidez, devido à focalização da imagem de objetos apropriadas.

distantes dá-se antes da retina. Com o auxílio da D) apesar de a camisa vermelha do acusado parecer

tecnologia do raio *laser*, os médicos conseguem realizar vermelha quando iluminada por luz verde, uma pessoa

cirurgias na córnea, corrigindo sua curvatura excessiva. míope precisa de óculos com lentes divergentes.

16. (UFLA-MG) Uma pessoa hipermetrope pode focalizar

SEÇÃO ENEM

nitidamente objetos que estejam a mais de 100 cm do

de 25 cm, ela deverá usar óculos com lentes com diferenciador de cores e vê apenas a cor convergência de olho. Para que essa pessoa leia com conforto à distância **01.**

(Enem) Sabe-se que o olho humano não consegue

resultante, diferentemente do ouvido, que consegue

A) 3 m^{-1} . C) 1 m^{-1} . E) 10 m^{-1} . distinguir, por exemplo, dois instrumentos diferentes

B) 2 m^{-1} . D) $0,5 \text{ m}^{-1}$. tocados simultaneamente. Os raios luminosos do espectro

17. (FCMMG) Um grupo de estudantes necessita de uma e 780 nm , incidem na córnea, passam pelo cristalino visível, que têm comprimento de onda entre 380 nm

lente para construir um projetor de *slides*, que deve e são projetados na retina. Na retina, encontram-se

de sua escola. Eles lembram que, nesse projetor, que convertem a cor e a intensidade da luz recebida o *slide* é pequeno e é iluminado por uma luz intensa que em impulsos nervosos. Os cones distinguem as cores ser usado numa apresentação de uma Feira de Ciências dois tipos de fotorreceptores, os cones e os bastonetes,

projeta uma imagem grande do mesmo sobre a tela.

primárias – vermelho, verde e azul –, e os bastonetes

Um dos alunos é incumbido de arranjar as lentes. Procura,

diferenciam apenas níveis de intensidade, sem separar

oferece lentes usadas. Ele seleciona 4 lentes e, com elas, comprimentos de onda. Os impulsos nervosos produzidos então, uma loja que vende óculos, e o funcionário lhe

observa as letras de um livro. Verifica que, na lente: são enviados ao cérebro por meio do nervo óptico, para

L, as letras parecem aumentar um pouco de tamanho; ¹ que se dê a percepção da imagem. Um indivíduo que, por

alguma deficiência, não consegue captar as informações

L₂, as letras parecem aumentar bastante de tamanho; transmitidas pelos cones, perceberá um objeto branco,

L₃, as letras parecem diminuir um pouco de tamanho; iluminado apenas por luz vermelha, como

L₄, as letras parecem diminuir muito de tamanho. A) um objeto indefinido, pois as células que captam a

Analisando as lentes trazidas com a finalidade de projetar luz estão inativas.

a imagem do *slide* na tela, o grupo deve escolher a lente B) um objeto rosa, pois haverá mistura da luz vermelha

A) L . B) L . C) L . D) L . com o branco do objeto. ^{1 2 3 4}

C) um objeto verde, pois o olho não consegue diferenciar

18. (FCMMG–2007) Um grupo de estudantes necessita de uma componentes de cores.

lente para construir um microscópio. Eles lembram que, nesse D) um objeto cinza, pois os bastonetes captam

microscópio, a imagem final é invertida e é constituída de duas luminosidade, porém não diferenciam cor.

lentes: a ocular e a objetiva. Um dos alunos é incumbido de E) um objeto vermelho, pois a retina capta a luz refletida

FÍSICA

arranjar as lentes. Procura, então, uma loja que vende óculos, pelo

objeto, transformando-a em vermelho.

e o funcionário lhe oferece lentes usadas. Ele seleciona 4 lentes e, com elas, observa as letras de um livro. Verifica que, na lente **02**. O olho humano é formado, basicamente, por um conjunto

L função de projetar imagens sobre a retina para que a pessoa 2, as letras parecem aumentar bastante de tamanho; possa enxergar nitidamente. Observe as figuras a seguir, L L, as letras parecem aumentar um pouco de tamanho; de lentes convergentes (córnea e cristalino), que tem a 1

3, as letras parecem diminuir um pouco de tamanho;

L4, as letras parecem diminuir muito de tamanho. A visão normal se apresenta que ilustram dois dos problemas de visão mais comuns:

Analisando as lentes selecionadas, a ocular e a objetiva quando a luz é focalizada Retina

devem ser, respectivamente, diretamente sobre a retina,

A) L e não à frente ou atrás dela. e L . C) L e L .

1 2 3 4

B) L e L . D) L e L . 2 1 4 3

19. (UFES) Uma câmara fotográfica, com lente de distância

focal $f = 5,0$ cm, é usada para fotografar um objeto de Problema 1
Problema 2

1,8 m de altura.

A) **DETERMINE** a distância do objeto à lente para que Fonte:
Biblioteca Nacional de Medicina dos EUA.

a imagem do objeto no filme tenha uma altura igual A) No problema
1, o olho está muito convergente,

a 3,0 cm. o que é chamado de hipermetropia, e esse problema

B) Quais as características da imagem formada no filme? é corrigido por lentes divergentes.

C) **FAÇA** um diagrama representando o objeto, a lente B) No problema 2, o olho está muito convergente,

e a imagem. o que é chamado de hipermetropia, e esse problema

é corrigido por lentes divergentes.

20. (FUVEST-SP) O ponto remoto corresponde à maior C) No problema 1, o olho está muito convergente, o que

distância que pode ser focalizada na retina. Para um olho é chamado de miopia, e esta é corrigida por lentes

míope, o ponto remoto, que normalmente está no infinito, divergentes.

fica bem próximo dos olhos. D) No problema 2, o olho está pouco convergente,

A) Que tipo de lente o míope deve usar para corrigir o o que é chamado de miopia, que é corrigida por lentes

defeito? convergentes.

B) Qual a distância focal de uma lente para corrigir a E) No problema 1, o olho está pouco convergente,

miopia de uma pessoa cujo ponto remoto se encontra o que é chamado de miopia, que é corrigida por lentes

a 20 cm do olho? convergentes.

Editora Bernoulli **73**

Frente C Módulo 06

03. A compreensão do fenômeno da visão não é tarefa Sabe-se que, em um espelho convexo, a imagem formada

simples. A ideia básica a ser compreendida é a de que está mais próxima do espelho do que este está do

vemos as imagens da maneira que nossos olhos e o nosso objeto, o que parece estar em conflito com a informação

cérebro interpretam o ambiente. Os olhos detectam os apresentada na reportagem. Essa aparente contradição

sinais luminosos que os atingem, enviando ao cérebro é explicada pelo fato de

as informações correspondentes. O cérebro decodifica A) a imagem projetada na retina do motorista ser menor

do
que
o
objeto.

essas informações e, então, somos capazes de enxergar

B) a velocidade do automóvel afetar a percepção de o mundo à nossa volta. É por isso que os instrumentos

distânc

ópticos podem alterar a forma aparente dos objetos —

C) o cérebro humano interpretar como distante uma porque modificam as informações que chegam aos nossos imagem pequena.

olhos e que estes enviam ao cérebro.

D) o espelho convexo ser capaz de aumentar o campo

Quando alguém, usando uma lupa ou microscópio, vê uma visual do motorista.

imagem enormemente aumentada de um inseto, sabe E) o motorista perceber a luz vinda do espelho com a

muito bem que o inseto continua do mesmo tamanho. parte lateral do olho.

Da mesma forma, quando vemos nossa imagem do outro lado de um espelho plano, sabemos que não estamos lá

fisicamente, mas a maneira que os nossos olhos e nosso

GABARITO

cérebro decodificam os sinais luminosos nos dá essa

impressão. Quem entra num labirinto de espelhos de um

Fixação

parque de diversões só tem certeza de onde ele próprio

está; quanto à posição do outro, é impossível diferenciar 05. A) Convergente, já que não podemos obter 01. D 02. A 03. A 04. A

as pessoas das múltiplas imagens formadas pelo espelho. imagens reais a partir de sistemas de lentes

divergentes.

Alberto Gaspar

B) $f = 4,8 \text{ cm}$

De acordo com a Óptica Geométrica, a ampliação é

Propostos resultado

A) do aumento do ângulo visual que é interpretado pelo 01. B

nosso cérebro como “maior” ou “mais perto”. 02. A

B) da tridimensionalidade fornecida pelos espelhos

planos e esféricos, assim como das lentes esféricas. 05. A
04. A

C) do princípio da reversibilidade dos raios de luz, já que 06. E

a trajetória não depende do sentido de propagação. 07. C

D) da característica mais importante da reflexão da luz, 08. E

que é tornar iluminado qualquer corpo real. 09. E

E) do princípio da independência dos raios de luz, já que 11. D

estes se cruzam sem nenhuma modificação em suas 12. C
trajetórias. 13. B

04. (Enem-2010) Os espelhos retrovisores, que deveriam 15. A

auxiliar os motoristas na hora de estacionar ou mudar de 16. A

pista, muitas vezes causam problemas. É que o espelho 18. B 17. B

retrovisor do lado direito, em alguns modelos, distorce a 19. A) 3,05
m

imagem, dando a impressão de que o veículo está a uma B) Real,
invertida e menor que o objeto.

distância maior do que a real. C) Lente

Esse tipo de espelho, chamado convexo, é utilizado

com o objetivo de ampliar o campo visual do motorista, i

já que no Brasil se adota a direção do lado esquerdo e, 20. A) Divergente B) –20 cm

assim, o espelho da direita fica muito distante dos olhos Seção Enem do condutor.

Disponível em: <http://noticias.vrum.com.br> Acesso em: 3 nov. 01. D 02. C 03. A 04. C

2010 (adaptado).

74 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE Associação de resistores 07 D

A corrente elétrica (um fluxo ordenado de cargas elétricas), 1. Toda corrente que **entra** por uma das extremidades

ao percorrer um circuito elétrico (caminho por onde a de um resistor ou de uma fonte de tensão deve **sair**

corrente passa), conforme se sabe, produz consequências pela outra extremidade (o número de elétrons que

diversas, por exemplo, o aquecimento dos elementos

entra é igual ao número de elétrons que sai – Princípio do circuito, fenômeno conhecido como efeito Joule. da Conservação das Cargas). Portanto, o resistor não

Sabe-se, também, que a corrente elétrica pode ser contínua “consome” corrente elétrica. ou alternada e aprendemos, em estudos anteriores, como

calcular a potência elétrica e a energia elétrica “consumida” 2. Em Eletricidade, a energia **fornecida** pela fonte de

em um ou mais elementos de um circuito. Neste módulo, tensão deve ser “**consumida**” pelos elementos do

vamos retomar, complementar e aprofundar tais conceitos. circuito a cada instante (Princípio da Conservação

da Energia). As usinas de eletricidade devem,

Chamamos de resistor qualquer elemento condutor

a cada instante do dia, transformar outras formas

colocado em um circuito, propositadamente, com o objetivo

de energia em energia elétrica para atender,

de transformar energia elétrica em energia térmica (caso

exatamente, à demanda por energia elétrica que

dos aparelhos de aquecimento) ou de limitar a corrente

existe naquele momento.

fornecida a um dispositivo (muito usual em eletrônica).

O resistor, assim como qualquer elemento colocado em um Os resistores podem ser associados de várias maneiras:

circuito elétrico, apresenta uma resistência elétrica, seja ela em série, em paralelo, em delta, em estrela, etc.

desejada ou não. Vamos considerar, aqui, apenas as ligações de elementos

A maioria dos aparelhos que usamos e muitos dos circuitos em série e em paralelo. Para tais associações, podemos

utilizados em nosso cotidiano são combinações de dois ou montar um circuito equivalente, em que há um único resistor,

mais resistores. Assim, eles devem ser conectados – de chamado de resistor equivalente, que irá apresentar as

maneiras específicas – com o objetivo de nos fornecer o mesmas características da associação. resultado que deles esperamos. Vamos descobrir como são

essas ligações, denominadas associações de resistores, SUAS Associação de Resistor vários resistores equivalente características e o uso que podemos fazer delas. $R_{ASSOC} R_A B A EQUI B I$ Antes de iniciar, vamos fazer uma convenção: os fios que $_{ASSOC}$ interligam os elementos do

circuito e a fonte de tensão I_{EQUI} (bateria, por exemplo) não oferecem dificuldade à passagem I_{Fonte} I_{Fonte}

de corrente através deles, ou seja, os fios e a bateria apresentam resistência desprezível (são considerados V
A B A B V

ideais). Quando for importante considerar a resistência dos

Observe, na figura anterior, que as fontes, a associação fios e / ou da fonte de tensão, isso será especificado.

de resistores e o resistor equivalente estão ligados, diretamente, aos pontos A e B. Sejam V = voltagem;

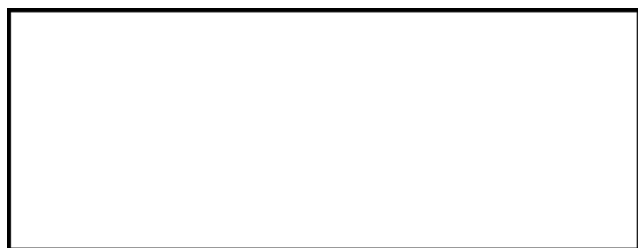
I = corrente; R = resistência e P = potência dissipada.

ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES

Em qualquer tipo de associação de dois (ou mais) resistores, há características que são comuns a todas as associações e

que, portanto, precisamos conhecer; são elas:

Em nosso estudo anterior, vimos que, num circuito



formado por um resistor e por uma fonte de tensão (d.d.p.),

existe uma transformação de energia. Os portadores de 1 – $V_{EQUI} = V_{ASSOC} = V_{FONTE}$ carga que constituem a corrente elétrica (elétrons ou 2 – $I_{EQUI} = I_{ASSOC} = I_{FONTE}$ íons) recebem energia quando passam através da fonte 3 – $R_{EQUI} = R_{ASSOC}$ (a pilha, por exemplo, transforma energia química em 4 – $P_{EQUI} = P_{ASSOC} = P_1 + P_2 + \dots P_n$ energia elétrica) e, ao passarem através do resistor, perdem

a energia que a fonte lhes forneceu (ocorre transformação No quadro, $P_1, P_2, \dots P_n$ são as potências dissipadas, de energia elétrica em energia térmica). Observe, então, individualmente, nos resistores que formam a associação,

dois fatos importantes: qualquer que seja ela.

Editora Bernoulli 75

Frente D Módulo 07

COMO FAZER ASSOCIAÇÃO Observe que os pontos M e P estão submetidos a um mesmo potencial, assim como os pontos N e Q. Portanto,

DE RESISTORES $V_M = V_P = V_N = V_Q = V_{FONTE}$. Logo, os dois resistores estão submetidos $V_M - V_P = V_N - V_Q$ à mesma diferença de potencial ou voltagem. Dizemos

que dois ou mais resistores estão associados em
paralelo

Fazer uma associação de resistores, de qualquer tipo,
se cada uma das extremidades de um dos resistores
estiver
envolve uma metodologia de como os resistores são
no mesmo potencial em relação às extremidades dos
outros

conectados entre si e com a bateria que lhes vai
prover a resistores. Assim, resistores associados em
paralelo estão

diferença de potencial (tensão) necessária. Ou seja, o
tipo submetidos à **mesma diferença de potencial**. de
associação depende da maneira (*modus operandi*)
como

os resistores são ligados. R_1

Associação de resistores em série $M N$

$R_{N1 M} = P R_2 Q R_2 P Q$

Considere os resistores 1 e 2 a seguir, de resistências V

R e R . Cada um apresenta duas extremidades livres $_{12}$. Com certeza, pode-se perceber que dois resistores (M , N e P , Q), associados em paralelo não são, obrigatoriamente, paralelos

M e R um ao outro. R_1 N P_2 Q

Fazer uma associação em série de dois resistores consiste **ESPECIFICIDADES DA**

em duas etapas: **ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES**

1. Ligar as extremidades N (de R_1) e P (de R_2); $_{12}$

2. Conectar a bateria aos terminais que estão livres – **Em série**

M (de R_1) e Q (de R_2). $_{12}$

Dessa forma, a corrente elétrica encontra apenas um A figura a seguir mostra três resistores (R_1 , R_2 e R_3) $_{123}$

caminho para percorrer o circuito, conforme mostrado a seguir. associados em série e conectados a uma pilha de tensão V . A

Esse é um fato importante. Dizemos que dois ou mais figura mostra também o circuito equivalente dessa associação.

resistores estão associados em **série** quando são percorridos

pela **mesma corrente elétrica** (os mesmos portadores de V_{AN} V_{NQ} V_{QB}

carga atravessam os diversos resistores).

$$M R R A R R R R_1 23 N Q B R N = P P_2 Q_1 2 Q$$

$$I I V I I_1 I_2 I_3$$

I

I I

$$V I N R M_1$$

$$A + - B$$

É possível notar que dois resistores em série não estão, $V_{AB} = V$

necessariamente, na mesma reta.

Associação de resistores em $V = V_{AB}$

Para exemplificar a associação de dois resistores em I paralelo, vamos usar os mesmos resistores 1 e 2 da montagem anterior. Fazer uma associação de dois resistores A I B em paralelo exige três etapas, a saber:

$$V = V_{AB}$$

1. Ligar a extremidade M (de R) à extremidade P (de R);_{1 2}
2. Conectar as extremidades N (de R) e Q (de R);₁ Observe que a corrente que percorre o circuito tem um
₂ único caminho para passar (seja na bateria, no resistor
3. Estabelecer a conexão da bateria aos pontos que equivalente ou nos resistores da associação).
 Portanto,
 foram unidos (MP e NQ). concluímos que os resistores estão ligados em série.

carga EXERCÍCIO RESOLVIDO

que formam a corrente devem passar, sucessivamente,

nos resistores R_1 , R_2 e R_3 . Portanto, os portadores de carga q **01**. Considere três resistores ligados em série e conectados “gastam” uma parte da energia recebida da bateria em cada a uma bateria, conforme mostrado. um dos resistores.

Veja que $V = V_1$, $V = V_2$ e $V = V_3$. **1 AN 2 NQ 3 QB** Logo, podemos escrever: Dados: $V_{AB} = 16 \text{ V}$; $R_1 = 1,0 \, \Omega$; $R_2 = 4,0 \, \Omega$; $R_3 = 3,0 \, \Omega$



$M R_2 R N A B$

$$I = I = I = I_{123}$$

$$V_{R1} = V + V + V \quad I R I_3 \text{ FONTE } 123$$

$A B A B$

Sabemos que $V = RI$. Substituindo esse resultado na (a) (b)

segunda relação do quadro anterior, temos: Determinar as correntes (I_1 , I_2 e I_3) em cada resistor, 123

$RI = R$ a tensão nos terminais de cada um deles
 $(V_1, V_2 \text{ e } V_3)$ e $I_1 + R I_2 + R I_3$ **123** as
 potências dissipadas por eles ($P_1, P_2 \text{ e } P_3$). **123**

Simplificando as correntes, que são iguais, obtemos:

Resolu

$R = R_1 + R_2 + R_3$ Observe na figura (a) que a corrente tem um único caminho para percorrer a associação. Assim, podemos

A respeito dessa última relação, vamos fazer as seguintes afirmações: afirmar que os resistores estão associados em série.

considerações: Na figura (b), temos o circuito equivalente, no qual

$$\begin{aligned} R &= \\ &= \\ &8,0 \\ &\Omega. \end{aligned}$$

1. A resistência total (ou equivalente) de uma associação de resistores em série é sempre maior que ele está ligado diretamente aos terminais da bateria, Usando a relação $V = RI$ no resistor equivalente (veja

que a resistência de qualquer um dos resistores $V = V_1 + V_2 + V_3 = 16 \text{ V}$), temos: R_{AB} da associação. Podemos fazer uma analogia entre

16 = $8,0 \cdot I \Rightarrow I = 2,0 \text{ A}$ (corrente no circuito) a associação de resistores em série e um fio a ser percorrido pela corrente quando dizemos que, ao

$I = I_1 = I_2 = I_3 = 2,0 \text{ A}$.

se estivéssemos aumentando o comprimento (L)

OBSERVAÇÕES FÍSICA fazer a associação dos resistores em série, é como do fio a ser percorrido pela corrente (lembre-se de Sabemos que $Q = ne = I\Delta t$. Em $2,0 \text{ A}$, temos,

que $R =$ portanto, exatos $1,25 \times 10^{19}$ elétrons (12,5 milhões de $\rho L/A$). trilhões deles) percorrendo o circuito a cada segundo.

2. Mais importante do que conhecer a relação entre OS Ou seja, a corrente obedece à quantização de cargas.

resistores que compõem a associação e o resistor Vamos usar a relação $V = RI$ em cada um dos resistores:

equivalente é conhecer as relações entre corrente e $V_1 = 1,0.2,0 = 2,0 \text{ V} \Rightarrow V_1 = 2,0 \text{ V}$ tensão nesse tipo de circuito, sem as quais será difícil $V_2 = 4,0.2,0 = 8,0 \text{ V} \Rightarrow V_2 = 8,0 \text{ V}$ analisar circuitos em série. $V = 3,0.2,0 = 6,0 \text{ V} \Rightarrow V = 6,0 \text{ V}$

Em estudos anteriores, vimos que a potência dissipada Como os resistores estão associados em série, temos que

em um resistor pode ser calculada por: $V_{\text{Fonte}} = V_1 + V_2 + V_3 = 16 \text{ V}$.

$P = VI = RI$ A potência dissipada nos resistores pode ser calculada $P_2 = V_2 / R$

pela mesma corrente elétrica, dois fatos merecem destaque $P_1 = 1,0.2,0 = 4,0 \text{ W} \Rightarrow P = 4,0 \text{ W}$ $P = 4,0.2,0 = 16 \text{ W} \Rightarrow P = 16 \text{ W}$ na associação em série de resistores: Dessa forma, uma vez que os resistores são percorridos P por $P = RI$; logo: P_2

$P_3 = 3,0.2,0 = 12 \text{ W} \Rightarrow P_3 = 12 \text{ W}$

$$P_{2T} = 8,0, 2,0 \Rightarrow P_T = 32 \text{ W (potência total do circuito)}$$

- A maior queda de tensão ou d.d.p. (V) acontece no resistor Em qualquer associação:

$$\Rightarrow P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n \Rightarrow P_T = 4,0 + 16 + 12 = 32 \text{ W V}$$

que apresenta maior valor de resistência (I = constante

$\propto R$). Em outras palavras, esse resistor recebe a maior parcela da voltagem total (V Da solução do exercício, é importante que se perceba que); FONTE

- 1. o resistor R_2 não está ligado diretamente aos O resistor de resistência mais alta é aquele que vai dissipar terminais da bateria e que a tensão entre os seus a maior potência, esquentar mais e, consequentemente, terminais é V (V) = 8,0 V e não V = 16 V MN 2 AB consumir a maior parte da energia fornecida pela fonte (Observe a figura original). Muitas pessoas têm (I = constante $\Rightarrow P \propto R$ ou $P \propto V$). dificuldade com isso.

2. uma vez que a corrente é a mesma em todos os

A seguir, apresentaremos um exercício resolvido no qual resistores da associação, o resistor R_2 , de maior

os conceitos até aqui abordados são revisados. resistência, foi o que dissipou a maior potência ($P \propto R$).

Frente D Módulo 07

Em paralelo 1. A resistência total (ou equivalente) da associação de resistores em paralelo é sempre menor que

Na figura a seguir, temos três resistores (R_1 , R_2 e R_3) a resistência de qualquer um dos resistores da

associados em paralelo e conectados a uma pilha de tensão V . associação. Fazendo uma analogia entre a associação

A figura mostra também o circuito equivalente dessa associação. de resistores em paralelo e um fio a ser percorrido

R_{eq} por uma corrente, podemos dizer que, ao fazer a associação em paralelo, é como se estivéssemos

I A R I mantendo o comprimento do fio a ser percorrido pela I 2 1 2 B corrente constante, mas estivéssemos aumentando I R 3 3 I a área (A) do fio para a corrente passar (lembre-se

I de que $R = \rho L/A$).

A + - B tipo de circuito é mais importante do que saber v 2. Conhecer a relação entre corrente e tensão nesse

determinar sua resistência equivalente.

$$V_{AB} = V$$

R 3. Se os resistores em paralelo apresentam resistências

R_A e R_B iguais, o resistor equivalente (R_E) será obtido

$$I_E$$

dividindo-se a resistência de um deles (R) pelo

número (n) de resistores:

$$R_{AB}$$

$$V = V_R = R/n_E$$

$$AB$$

Em estudos anteriores, vimos que a potência dissipada

Veja que os três resistores têm as suas extremidades em um resistor pode ser calculada por:

ligadas diretamente aos terminais da bateria (pontos A e B).
 $P = VI = RI = V^2/R$
 Dessa forma, todos os resistores estão submetidos à mesma Uma vez que os resistores estão submetidos à mesma voltagem (V).
 Logo, podemos concluir que os três resistores R_{AB} voltagem (d.d.p. ou tensão), dois fatos relevantes merecem estar associados em paralelo. Veja que, nesse caso, a tensão destaque na ligação em paralelo

de resistores: em qualquer um dos resistores é igual à voltagem fornecida pela fonte.

Observe, também, que a corrente total da associação

- A maior corrente (mais intensa) vai atravessar o resistor

(fornecida pela bateria) encontra três caminhos para ir de menor resistência ($V = \text{constante} \Rightarrow I \propto 1/R$). Em

de A para B (um em cada resistor). Dessa forma, ela se outras palavras, a resistência menor recebe a maior

divide no ponto A e cada parcela da corrente passa por um parcela da corrente total (I); dos resistores; ao chegarem ao ponto B, essas parcelas se • O resistor de resistência mais baixa é aquele que juntam, formando novamente a corrente total que segue vai dissipar a maior potência (esquentar mais) e,

para a bateria. Assim, temos: consequentemente, consumir a maior parte da energia

fornecida pela fonte ($V = \text{constante} \Rightarrow P \propto I$ ou $P \propto 1/R$).



$$V_{\text{FONTE}} = V_1 = V_2 = V_3$$

Acompanhe com muita atenção o exercício a seguir. $I = I_1 + I_2 + I_3$ I_{TOTAL}

Sabe-se que $I = V/R$. Utilizando essa relação na segunda

equação do quadro anterior, temos: **EXERCÍCIO**

RESOLVIDO

$\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} V_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} V_2 + \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V_3$ **02.** Dois resistores ($R_1 = 60 \, \Omega$ e $R_2 = 30 \, \Omega$) são associados

em paralelo e ligados a uma bateria ($V = 120 \, V$). **AB**

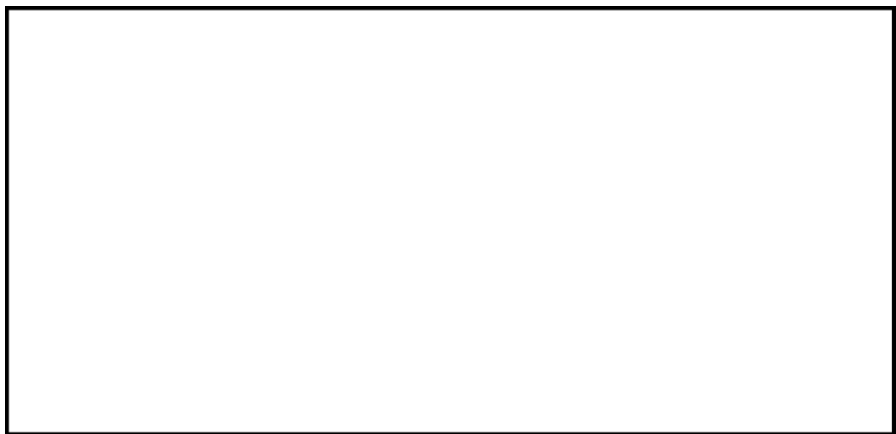
Simplificando as voltagens, que são iguais, obtemos a

A) Determinar a resistência equivalente (R) da

seguinte relação: associação, as correntes (I_1 e I_2) e as potências P_1



2



dissipadas (P_1 e P_2) em cada resistor.

$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R}$ B) Posteriormente, um outro resistor ($R_3 = 20 \, \Omega$) é ligado

R_1, R_2, R_3 em paralelo aos outros dois. Recalcular, agora, as

Se apenas dois resistores estão associados em paralelo,

podemos reescrever a relação anterior como:

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_{AB}}{I} \quad I = I_1 + I_2 \quad \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2}$$

A respeito da resistência equivalente na associação de

resistores em paralelo, vamos fazer três observações:

78 Coleção Estudo

Associação de resistores

Resolução: Antes de continuar, vamos constatar um fato

importante. A resistência equivalente da associação

A) Observe os pontos A e B colocados no esquema da

associação. Eles nos garantem que os resistores 1 e 2 com os resistores R_1 e R_2 é 20 Ω , menor que as

estão submetidos à mesma diferença de potencial resistências individuais de R_1 e R_2 . O resistor

(V_{AB}) e, portanto, estão ligados em paralelo. Logo: equivalente da associação com os resistores R_1 ,

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \text{ e } R \text{ tem resistência de } 10 \Omega \text{ (menor que a } R_1 \text{ e } R_2 \text{)}/(R_1 + R_2) = 60.30/90 \Rightarrow R = 20 \Omega$$

No circuito equivalente, a resistência equivalente da associação anterior). $= V/R = 120/20_{TOTAL}$ Ou seja, quanto mais resistores são colocados em $\Rightarrow I = 6,0 \text{ A}$.

Nessa associação, V paralelo, menor fica a resistência total do circuito $= V = V = 120 \text{ V}$ e $I = V/R$; logo: $I_{AB} = 6,0 \text{ A}$, consequentemente, maior será a corrente total, $I = V_1/R_1 = 120/60 \Rightarrow I_1 = 2,0 \text{ A}$ como veremos a seguir.

$I = V/R = 120/30 \Rightarrow I = 4,0 \text{ A}$ No circuito equivalente, $I_{TOTAL} = V/R = 120/10 \Rightarrow I = 12 \text{ A}$. Como os resistores estão em paralelo, Nessa associação, $V_1 = V_2 = V_3 = V_{AB} = 120 \text{ V}$ e $I = I_1 + I_2 = 6,0 \text{ A}$. $I_{TOTAL} = V/R$; logo: Certamente, é possível perceber que, na associação,

a corrente total ($6,0 \text{ A}$) se dividiu em $I = 2,0 \text{ A}$ (azul) e $I = V/R = 120/60 \Rightarrow I = 2,0 \text{ A}$

$I_2 = 4,0 \text{ A}$ (verde). No ponto B central, essas correntes $I_2 = V_2/R_2 = 120/30 \Rightarrow I_2 = 4,0 \text{ A}$ (I e I) se unem para formar, novamente, a corrente $I_3 = V_3/R_3 = 120/20 \Rightarrow I_3 = 6,0 \text{ A}$ total.

Vamos calcular as potências dissipadas nos resistores Chegamos, agora, ao momento mais importante da

R_1 e R_2 utilizando a relação $P = RI$: solução. Observe que as correntes em R_1 e R_2 não

$P_2 = 30,4,02$ Ou seja, na associação de elementos exclusivamente $= 480 \text{ W} \Rightarrow P_2 = 480 \text{ W}$ em paralelo, a corrente e a voltagem em cada um P sofreram alteração com a inserção do resistor R_3 . $= 60,2,02 = 240 \text{ W} \Rightarrow P = 240 \text{ W}$

dissipada no circuito) $T = 20,6,02 = 720 \text{ W} \Rightarrow P = 720 \text{ W}$

(potência total P_T dos elementos são independentes da corrente e da voltagem dos demais elementos. Em outras palavras, Em qualquer associação: cada um funciona sem tomar conhecimento dos

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n \Rightarrow P_T = P_1 + P_2 = 240 + 480 = 720$$

W outros que eventualmente estejam sendo inseridos **FÍSICA**

OBSERVAÇÃO ou retirados do circuito. O que é alterado é a corrente

total da associação.

O fato de o resistor apresentar uma resistência à

passagem da corrente elétrica e, por causa disso, Da solução do exercício, é relevante notarmos que

esquentar-se – efeito Joule – costuma provocar um 1. os resistores estão ligados diretamente aos terminais erro conceitual. Muitos pensam que, quanto maior da bateria e a tensão entre os terminais de todos eles

for a resistência elétrica, maior será o aquecimento.

Isso não é totalmente verdadeiro, uma vez que a é $V_{AB} = 120 \text{ V}$ (volte à figura e observe). A grandeza

potência dissipada depende, também, da corrente que se divide entre os resistores é a corrente elétrica.

que atravessa o resistor. 2. uma vez que a voltagem é a mesma em todos os

Veja o caso anterior. O resistor R_2 , apesar de ter a resistores da associação, o menor deles, no caso

metade da resistência de R , dissipa maior potência 1 o resistor R , é o que vai dissipar a maior potência 3 (esquenta mais). Isso acontece porque a corrente que $(P \propto 1/R)$.

atravessa o resistor R é o dobro daquela que passa 2. Veja o mapa conceitual comparativo das associações por R_{21} . Note, na equação de potência ($P = RI$), que de resistores em série e em paralelo: a corrente está elevada ao quadrado e, nesse caso,

é mais relevante do que a resistência.

Associação de resistores

B) Vamos, agora, acrescentar o terceiro resistor ao

circuito. Veja o esquema a seguir. Série Paralelo

A A A A A A

V tensões nos Soma das Igual às Tensão da tensões em I_{AB}
 $R_1 I R_2 I_3 R_3 V_1 AB I I R$ associação resistores cada resistor
 I_2

Calculando a resistência equivalente dessa associação, B B
 B B B B Igual às Soma das Corrente na correntes em
 correntes em associação cada resistor cada resistor temos:

R_1 Maior que a Menor que a $1 1 1 1 1 1$ Resistência =
 $+ + \Rightarrow = + + \Rightarrow R = 10 \Omega$ maior resistência menor
 resistência equivalente $R R R R 60 30 20$ da associação
 da associação

Editora Bernoulli 79

Frente D Módulo 07

OBSERVAÇÃO As correntes em R e R são I e I . Essas

correntes podem $I_2 = I_3 = I_1$

Se os resistores formam uma associação exclusivamente em série, as correntes serão calculadas como mostrado a seguir:

em paralelo, como no exercício resolvido 02, não há I
 $I = V / R = 24 / 6,0 \text{ A} = 4,0 \text{ A}$ $I_2 = I_3 = I_1 = 4,0 \text{ A}$

necessidade de se calcular o resistor equivalente e
nem a $I = V / R = 24 / 3,0 \text{ A} = 8,0 \text{ A}$

corrente total. Uma vez que os resistores estão conectados em paralelo, observe que $I = I_1 + I_2 + I_3$ diretamente à bateria, a tensão em cada um deles já é $V = 24 \text{ V}$

conhecida (voltagem da bateria). Assim, para calcular
Exemplo 02

a corrente em cada resistor (n), basta dividir a tensão
Dados: $V = 120 \text{ V}$; $R_1 = 5,0 \text{ } \Omega$; $R_2 = 14 \text{ } \Omega$; $R_3 = 6,0 \text{ } \Omega$

da bateria pela resistência desse resistor ($I = V / R$).
A corrente total será a soma das correntes em cada resistor.

Em associação mista

de associações de elementos em série e em paralelo.
É muito comum que os circuitos apresentem uma mistura de associação mista de

resistores, por mais complicada que seja,

devemos trabalhar com cada associação separadamente. Veja que o resistor R está, com certeza, em série com R_{23} . Deve-se começar com os resistores para os quais se tem pois a corrente elétrica que passa através deles é a mesma.

certeza do tipo de associação – por isso é importante Na análise dessa associação de resistores, devemos começar

conhecer as características específicas das associações em com os resistores R_1 e R_{23} e desenhar um outro circuito

série e das associações em paralelo. Vamos analisar alguns (conforme o da direita), no qual é fácil perceber que R_1 e R_{23} exemplos de circuitos mistos. estão em paralelo ($V_{AB} = V_1 = V_{23} = 120 \text{ V}$). Podemos

Exemplo 01 representar o circuito equivalente e calcular a corrente

Dados: V_{AB} elétrica total e a resistência total desse circuito, conforme $V_{AB} = 120 \text{ V}$; $R_1 = 8,0 \Omega$; $R_2 = 3,0 \Omega$; $R_3 = 6,0 \Omega$ a sequência a seguir.

R_2

$$R_{23} = R_2 R_3 = 20 \Omega + 6,0 \Omega \Rightarrow R_{23} = 26 \Omega$$

$$R_{AB} = (R_1 R_{23}) / (R_1 + R_{23}) = (8,0 \cdot 26) / (8,0 + 26) = 5,8 \Omega$$

circuito equivalente, $I = V/R = 120/4,0 \text{ I} = 30 \text{ A}$.

$$R_{23 \text{ AB}} \Rightarrow 3$$

As correntes em R_1 e R_2 são I_1 e I_2 e podem ser calculadas a partir de V_{AB} como mostrado a seguir:

Veja que o resistor $R_1 = V/R = 120/5,0 \text{ I} = 24 \text{ A}$
 $R_{AB} \Rightarrow 1$ não está em série com R_2 e também R_2

não está em série com R_3 (a corrente neles não é a mesma). $I = V/R = 120/20 \text{ I} = 6,0 \text{ A}$
 $R_{23 \text{ AB}} \Rightarrow 3$

Mas observe que as tensões em R_1 e em R_2 são iguais
Observe que $I = I_1 + I_2$ ($V = V = V$). Assim, os resistores R_1 e R_2 estão, com certeza, $R_{23 \text{ MB}} \Rightarrow 3$

em paralelo. Deve-se, portanto, começar com eles e desenhar As correntes que circulam pelos resistores R_1 e R_2 são I_1 e I_2

um outro circuito, colocando o resistor equivalente de R_1 e R_2 iguais; logo, $I = I_1 = 6,0 \text{ A}$ e $R_{23 \text{ MB}} \Rightarrow 3$

conforme a figura anterior. Veja, nela, que os resistores As tensões em R_1 e R_2 são V_1 e V_2 e podem ser calculadas $R_{23 \text{ MB}} \Rightarrow 3$ R_1 e R_2 são percorridos pela mesma corrente. Assim, da seguinte maneira: I_1 e I_2

tais resistores estão associados em série, e o desenho do $V = V_1 + V_2 = R \cdot I = 14.6,0 \text{ V} = 84 \text{ V}$
 $V_2 \Rightarrow$ circuito equivalente a eles poderá ser feito. Vamos calcular $R_{AM} \Rightarrow 2$

a resistência equivalente e a corrente total no circuito,
 $V = V = R \cdot I = 6,0 \cdot 6,0 \text{ V} = 36 \text{ V}$ $\Rightarrow$

conforme a sequência a seguir. Note que $V = V + V$
 $= 84 + 36 = 120 \text{ V}$.

$$R = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2) = 6,0 \cdot 3,0 / 9,0 \text{ } R = 2,0 \text{ } \Omega$$

$$R_{\text{OBSERVAÇÃO}} = R_1 + R_2 = 8,0 + 2,0 \text{ } R = 10 \text{ } \Omega$$

No circuito equivalente, $I = V / R$ Nesse caso, não há
 necessidade de se calcular o circuito $I = 120 / 10 \text{ A}$
 $= 12 \text{ A}$.

As correntes em R_1 e R_2 são iguais a I ; logo:
 terminais da bateria. A corrente no resistor R_1 é $I =$
 $V / R_1 = 120 / 10 \text{ A} = 12 \text{ A}$. Para resolvermos o
 circuito, basta calcular a corrente elétrica

A tensão em R_1 é $V_1 = R_1 \cdot I = 6,0 \cdot 12 = 72 \text{ V}$
 em R_1 e R_2 , que estão em série.

80 Coleção Estudo

Associação de resistores

DIVISÃO DE CORRENTE E A associação

em série é um circuito chamado de divisor de tensão. Assim, se você necessita de uma tensão menor do que

DIVISÃO DE TENSÃO aquela que está disponível, para fazer funcionar um aparelho,

deverá ligar um resistor, de resistência específica, em série com

A partir dos exercícios resolvidos anteriormente, o equipamento. Como haverá uma divisão da tensão entre

foi possível perceber como dividir a corrente entre resistores eles, o aparelho usará apenas a voltagem que lhe é devida. associados em paralelo e como dividir a tensão entre

resistores associados em série. Uma ferramenta útil na

análise das associações de resistores consiste em usar as **EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO** proporcionalidades entre as grandezas para dividir a corrente

ou a tensão entre os resistores.

Considere dois resistores associados em paralelo, **01.** Observe o esquema. A bateria é ideal e as resistências de

que fazem parte de um circuito maior, e considere que R_1 , R_2 e R_3 são iguais a $6\ \Omega$, $2\ \Omega$ e $4\ \Omega$, respectivamente. conheçamos o valor da corrente que chega a eles. Como A respeito do circuito, é **INCORRETO** afirmar que

dividir essa corrente entre esses resistores? R_2 R_3

$$R_1 = R$$

$$A \ R \ B \ 1$$

$$I_1$$

$$I = 6,0 \text{ A} \ I_2 \ 12 \text{ V}$$

$$R_2 = 2R$$

A) as correntes que passam nos três resistores têm

Observe, na figura, que $R = R/2$. Uma vez que eles estão I_1 I_2 intensidades iguais.

em paralelo, as voltagens são iguais e as correntes que

B) o resistor 1 libera, por segundo, mais calor do que a

atravessam cada um deles se somam para formar a corrente

soma dos outros dois.

total. Sabemos que $I = V/R$, e, portanto, a corrente em

C) se o resistor 3 queimar, a potência do resistor 1 fica

cada resistor é inversamente proporcional à sua resistência **FÍSICA**

a mesma de antes.

(a voltagem é a mesma para os dois).

D) a resistência total da associação, entre os pontos

Como $R = R/2$, temos que $I = 2I_1$ I_2 I_2 A e B, é igual a

3Ω .

Em paralelo, $I + I = I + I = 6,0 \text{ A}$ $3I = 6,0 \text{ A}$. $12 \Rightarrow 2I_{22} \Rightarrow 2 \text{ E}$) se o resistor 1 queimar, as tensões nos resistores

Assim, I_2 e I_3 não se alteram. $= 2,0 \text{ A}$ e $I = 4,0 \text{ A}$. 21

A associação em paralelo é um circuito chamado de divisor **02**. (Unesp–2006) Um estudante adquiriu um aparelho cuja

de corrente.

especificação para o potencial de funcionamento é pouco

Observe, agora, três resistores associados em série

e essa associação submetida a uma tensão $V = 120 \text{ V}$.

AB usual. Assim, para ligar o aparelho, ele foi obrigado

a construir e a utilizar o circuito constituído de dois

Como dividir a tensão entre os resistores?

resistores, com resistências X e R , como apresentado na

V_1 V_2 V_3 figura. Considere que a corrente que passa pelo aparelho

A B seja muito pequena e possa ser descartada na solução

I do problema. Se a tensão especificada no aparelho é a I

$R_1 = R$ $R_2 = 2R$ $R_3 = 3R$ décima parte da tensão da rede, então a resistência X

V deve ser $= 120 \text{ V}_{AB}$

Rede

Já que os resistores estão associados em série,

a corrente é a mesma em todos eles, e as tensões R X

em cada um se somam para formar a voltagem total.

Sabe-se que $V = RI$ e, assim, a tensão em cada um dos resistores é diretamente proporcional à sua resistência. Portanto:

Se $R = 3R$ e $R = 2R$, temos que $V = 3V$ e $V = 2V$.
3 1 2 1 3 1 2 1 B) $8R$. A) $6R$.

Em série, $V + V + V = V$ $V + 2V + 3V = 120$ V V_{12}
3 AB $\Rightarrow$ 1 1 1 C) $9R$.

$\Rightarrow 6V = 120$ V $\Rightarrow = 20$ V. $D) 11R$.

Assim, $V = 20$ V, $V = 40$ V e $V = 60$ V. 123 E) $12R$.

Editora Bernoulli 81

Frente D Módulo 07

03. (FEPECS-DF) As figuras mostram os diagramas de **02.** (FMJ-SP-2007) Quando dois resistores encontram-se

dois circuitos elétricos A e B, cada um com duas associados em série, a resistência equivalente R é igual s

resistências diferentes sob a d.d.p. de uma bateria. a $9,0 \Omega$, e, quando associados em paralelo, a resistência

Podemos afirmar que equivalente R é igual a $2,0 \Omega$. Os valores das resistências p

desses resistores, em ohms, são

A B A) $1,0 \Omega$ e $8,0 \Omega$. D) $4,0 \Omega$ e $5,0 \Omega$.

B) $2,0 \, \Omega$ e $7,0 \, \Omega$. E) $4,5 \, \Omega$ e $4,5 \, \Omega$.

A) as resistências do circuito em A estão em paralelo, C) $3,0 \, \Omega$ e $6,0 \, \Omega$.

porque aparecem em retas paralelas distintas do

diagrama, enquanto as do circuito em B estão em **03**.

(CEFET-MG) O comportamento elétrico dos condutores série, porque aparecem em uma mesma reta do A e B está representado no gráfico a seguir. Eles são

diagrama. conectados à bateria ideal do circuito mostrado.

B) em ambos os circuitos as resistências estão em série, porque podemos percorrer cada circuito passando, V

A

consecutivamente, pelas duas resistências. V A B B

C) em ambos os circuitos as resistências estão em

série, porque a d.d.p. entre as extremidades de cada I resistência é a mesma para as duas resistências.

D) no circuito A as resistências estão em série, pois por atravessam, e V e V as tensões a que estão submetidos, V_A e V_B elas passa a mesma corrente, e no circuito B estão em Sendo I_A e I_B as intensidades das correntes que os

respectivamente, é **CORRETO** afirmar que

paralelo, pois as duas estão sob uma mesma d.d.p.

E) em ambos os circuitos as resistências estão em A) $I_A < I_B$ e $V_A = V_B$.

paralelo, pois as duas estão sob uma mesma d.d.p. B) $I = I$ e $V = V$. A B A B

C) $I_A > I_B$ e $V_A < V_B$.

04. (UFLA-MG) Os resistores elétricos podem atuar como D) $I = I$ e $V > V$. A B A B

divisores de corrente ou de tensão, dependendo da forma E) $I_A > I_B$ e $V_A = V_B$. como estão associados. Na associação mostrada a seguir,

a resistência equivalente entre os pontos A e B vale

04. (UFC) No circuito a seguir, os três resistores são idênticos

A) 20Ω . 10Ω e cada um pode dissipar uma potência máxima de 32 W

B) 16 A sem haver risco de superaquecimento. Nessas condições, Ω .

C) 100 20 15 $\Omega \Omega$ qual a potência máxima que o circuito poderá dissipar? Ω .

D) $80 R \Omega$.

E) $5 B R \Omega$. $55 \Omega R$

05. (UFV-MG) Os valores das correntes i_1 , i_2 e i_3 no circuito

a seguir são, respectivamente, A) 32 W

A) 0,33 A; 0,17 A e zero. 3,0 B) 36 W

B) zero; zero e 1,20 A. i_1 i D) 44 W $10,0 \Omega$ i_2 C) 3,33 A; 1,67 A e zero. $i_3 \Omega$ C) 40 W

D) zero; zero e 1,00 A. 12,0 V i $6,0 \Omega$ i_3 E) 48 W

E) 33,3 A; 1,67 A e zero. **05.** (PUC RS-2006) Considere a análise do circuito a seguir,

em que R representa a resistência elétrica de um reostato

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

que pode ser regulada para assumir valores entre 0 e um valor máximo de $20 \text{ k}\Omega$. Considerando uma variação da

01. resistência R entre os seus limites, as intensidades máxima

(FMTM-MG) Um resistor R , de resistência R , encontra-se e mínima da corrente elétrica que passa no resistor de $10 \text{ k}\Omega$

submetido a uma fonte de tensão V e é percorrido por uma são, respectivamente,

corrente elétrica de intensidade i (figura 1). Ao se inserir,

simultaneamente em paralelo com o primeiro (figura 2), a tensão e $10 \text{ k}\Omega$ 100 V a corrente sobre o resistor R serão, respectivamente, $20 \text{ k}\Omega$ R

R_2

V R V R R A) $8,0 \text{ mA}$ e $2,0 \text{ mA}$. 113

B)
 $8,0$
 mA
e
 $4,0$
 mA .

Figura 1 Figura 2 C) $8,0 \text{ mA}$ e $5,0 \text{ mA}$.

A) V e i . C) $V/3$ e $3i$. E) $V/3$ e $i/3$. D) 10 mA e $2,5 \text{ mA}$.

B) $V/2$ e $3i$. D) $V/2$ e $i/3$. E) 10 mA e $5,0 \text{ mA}$.

Associação de resistores

06. (FGV-SP) A figura seguinte representa um trecho de **11.** (Fuvest-SP) Dispondo de pedaços de fios e 3 resistores

circuito elétrico. A diferença de potencial entre os pontos de mesma resistência, foram montadas as conexões

A e B é 12 V. Pode-se afirmar que os valores de i e R são, apresentadas a seguir. Entre essas, aquela que apresenta

respectivamente, a **MAIOR** resistência elétrica entre seus terminais é

$$i \ 2 \ \Omega$$

A) C) E)

$$A \ 3 \ A \ R \ B$$

B) D)

A) 1 A e 4 Ω . C) 3 A e 6 Ω . E) 6 A e 4 Ω .

B) 2 A e 8 Ω . D) 4 A e 4 Ω .

07. (Mackenzie-SP) Para que as associações de resistores a **12.** (UFLA-MG-2009 / Adaptado) O circuito a seguir é seguir tenham a mesma resistência equivalente, o resistor R composto por três resistores R_1 , R_2 e R_3 , alimentados por deve valer uma fonte ideal de tensão $V = 200$ V, que mantém uma 3 Ω 6 Ω corrente elétrica de 200 mA. Considerando as quedas de

6 Ω R tensão indicadas na figura, pode-se afirmar que o valor

A B

3 de R_2 é igual a Ω 6 Ω

$$6 \ i = 200 \ \text{mA} \ \Omega \ R$$

A B

08. (Cesgranrio) No circuito representado a seguir, todos 20 V R₃ 2 V
 A) 3 Ω. B) 6 Ω. C) 9 Ω. D) 12 Ω. E) 15 Ω. 200 V R 200 V₂

os resistores têm resistência igual a R. A resistência

equivalente entre os pontos P e Q é

A) 1 000 Ω.

P B) 200 Ω.

Q C) 333,3 Ω.

D) 90 Ω. **FÍSICA**

A) 5R/3. C) 9R/5. E) 13R/6.

B) 7R/4. **13.** (FGV-SP) Devido à capacidade de
 fracionar a tensão D) 11R/4.

elétrica, um resistor de fio também é conhecido como

09. divisor de tensão. O esquema mostra um resistor desse
 (Cesgranrio) O gráfico a seguir representa as intensidades

ôhmicos, R de seção transversal uniformes, onde foram ligados os i_1 e
 R_2 , em função da ddp aplicada em cada um conectores de A até E,
 mantendo-se a mesma distância deles. Abaixo do gráfico, há o
 esquema de um circuito no das correntes elétricas que percorrem dois
 resistores tipo, feito com um fio ôhmico de resistividade e área

qual R entre conectores consecutivos. i_1 e R_2 estão ligados em série a
 uma fonte ideal de 12 V.

2,0 i (A) R₁ A B C D E R a = 1,0 2 R₁ R 1,5 b = 2,0 2

1,0 c = 3,0 d = 4,0 i 0,5 e = 8,0 12 V f = 12 Uma vez estabelecidos os potenciais 0 V e 120 V nos 0 a b c d e f ddp (V) conectores A e E, respectivamente, o valor absoluto da

Nesse circuito, a intensidade da corrente elétrica que diferença de potencial entre os conectores C e D, em V, é

percorre R_1 e R_2 vale A) 24. D) 60.

A) 0,8 A. B) 1,0 A. C) 1,2 A. D) 1,5 A E) 1,8 A. B) 30. E) 72.

C)
48.

10. (VUNESP) Dois resistores iguais estão ligados em série

a uma tomada de 110 V e dissipam ao todo 550 watts. **14.** (Mackenzie-SP) Na associação de resistores da figura a

Observe a figura a seguir: seguir, os valores de i e R são, respectivamente,

$R \ 40 \ \Omega$

2 A

110 V 8 A 2 R 220 V R R R

R

A potência total dissipada por esses mesmos resistores, i se são ligados em paralelo a uma tomada de 220 V, é igual a A) 8 A e $5 \ \Omega$. D) 2 A e $2,5 \ \Omega$.

A) 4 400 W. C) 2 200 W. B) 16 A e $5 \ \Omega$. E) 1 A e $10 \ \Omega$.

B) 1 100 W. D) 8 800 W. C) 4 A e $2,5 \ \Omega$.

Frente D Módulo 07

15. (VUNESP) Alguns automóveis modernos são equipados com Fusível Corrente elétrica A

um vidro térmico traseiro para eliminar o embaçamento

Azul 1,5

em dias úmidos. Para isso, “tiras resistivas” instaladas na face interna do vidro são conectadas ao sistema elétrico Amarelo 2,5 de modo que se possa transformar energia elétrica em Laranja 5,0 energia térmica. Num dos veículos fabricados no país, por Preto 7,5 exemplo, essas tiras (resistores) são arranjadas como

Vermelho 10,0

mostra a figura a seguir.

Terminais que 6 Um farol usa uma lâmpada de gás halogênio de 55 W de vão para o 5 potência que opera com 36 V. Os dois faróis são ligados

4

sistema elétrico 3 separadamente, com um fusível para cada um, mas, após 2

1 um mau funcionamento, o motorista passou a conectá-los em paralelo, usando apenas um fusível. Dessa forma, admitindo-se que a fiação suporte a carga dos dois faróis,

Se as resistências das tiras 1, 2..., 6 forem, o menor valor de fusível adequado para proteção desse

respectivamente, $R_1, R_2, \dots, R_6$, a associação que 1 2 6 novo circuito é o

corresponde ao arranjo das tiras da figura é A) azul. C) laranja. E) vermelho.

A) R R B) preto. D) amarelo. R R _{1 2} R ₃ R _{4 5 6}

B) ₁ R₄ parte de baixo do aparelho e é usado para assar os alimentos;
R **02.** Um forno elétrico possui dois resistores. Um deles fica na

R₂ R₅ esse resistor apresenta uma resistência elétrica R_A. R₃
R₆ O outro resistor fica na parte de cima do forno e é

utilizado para gratinar os alimentos; esse resistor tem

C) R₁ R₂ R resistência elétrica R . Os dois resistores são acionados, ₃ G

de forma independente, por duas chaves próprias. Depois

R₄ R₅ R₆ de algum tempo de funcionamento, a chave que
liga

o resistor de baixo estragou. O proprietário resolveu

D) interligar os resistores de modo que apenas a chave de R ₁

gratinar colocaria os dois resistores em funcionamento

R₂ simultâneo. Indique, entre as alternativas a seguir,

R o circuito esquemático que permite que os dois resistores

₃ funcionem simultaneamente, sendo controlados pela

R₄ chave, e que forneçam a maior temperatura, de modo

R₅ a assar e gratinar alimentos no menor tempo possível.

R A) CH R_G C) R_G E) R CH R_G ₆

E) R_A CH R_A CH R R_A ₁

R₂ B) R_G D) R_G

SEÇÃO ENEM 01. B 02. C 03. D 04. B 05. B

01. Propostos

(Enem–2010) Todo carro possui uma caixa de fusíveis, 01. E 04. E
07. D 10. D 13. B

que são utilizados para proteção dos circuitos elétricos. 02. C 05. E
08. D 11. C 14. B

Os fusíveis são constituídos de um material de baixo 03. A 06. E 09.
C 12. D 15. B

ponto de fusão, como o estanho, por exemplo, e se

fundem quando percorridos por
uma corrente elétrica Seção Enem
igual ou maior do que aquela que são capazes de suportar.

O quadro a seguir mostra uma série de fusíveis e os 01. C 02. B

valores de corrente por eles suportados.

FÍSICA MÓDULO FRENTE Resistores no dia a dia 08 D

CIRCUITOS ELÉTRICOS – O circuito residencial representado a seguir possui apenas duas lâmpadas de 60 W ($I = 0,5$ A) cada uma, um aparelho

APLICAÇÕES de TV de 240 W ($I = 2,0$ A), uma geladeira de 240 W ($I = 2$ A), um chuveiro de 5 400 W ($I = 45$ A) e um ferro de

passar roupa de 1 800 W ($I = 15$ A). O circuito é alimentado

A maioria das pessoas tem muito temor de eletricidade, pela companhia de energia elétrica que fornece uma tensão

uma tecnologia que merece respeito, mas não medo. Vamos, eficaz de 120 V entre os pontos A e B. Assim, a voltagem

neste módulo, descobrir como o chuveiro pode nos fornecer entre os dois fios principais do circuito (que estão entre A e

água morna e quente (além de desligar de vez em

quando B) é de 120 V. durante o nosso banho), vamos aprender por que aquele

secador de cabelos, levado de viagem a outra cidade, pode A 120 V B A 120 V B

se queimar ao ser ligado e muito mais. Vamos levar o estudo 1,0 A 3,0 A 0,5 A 0,5 A da eletricidade para o nosso cotidiano.

0,5 A 0,5 A

O CIRCUITO RESIDENCIAL 2,0 A

No dia a dia, podemos notar que os aparelhos elétricos

funcionam de forma independente uns dos outros em uma

residência ou em um escritório. Além disso, a inserção

ou a retirada de um ou mais deles, num circuito bem

dimensionado, não afeta o funcionamento ou o desempenho

dos demais. Qual deve ser a associação entre os aparelhos (1) (2) para que isso aconteça? Com certeza você respondeu: em

paralelo. Vejamos. A 120 V B A 120 V B

5,0 A 0,5 A 50 A 0,5 A

Considere uma residência com apenas um circuito ligando

todos os aparelhos (na prática, como veremos adiante, não

é bem assim). Como se sabe, a corrente elétrica no circuito $0,5\text{ A}$ $0,5\text{ A}$

residencial é alternada, isto é, ela muda de sentido muito

$2,0\text{ A}$ $2,0\text{ A}$

rapidamente. No entanto, vamos considerá-la contínua e de

valor igual ao seu valor eficaz. $2,0\text{ A}$ $2,0\text{ A}$

O circuito residencial é protegido por uma chave disjuntora

(disjuntor), colocada na entrada da rede, logo após o ponto A 45 A (mostrado nos esquemas a seguir). Vamos considerar que o

circuito possua um disjuntor de 60 A . Isso quer dizer que se

a corrente no circuito ultrapassar 60 A o disjuntor desarmará ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ e desligará todo o circuito.

As figuras 1, 2, 3 e 4 mostram os valores das correntes



Disjuntor nos aparelhos do circuito, à medida que estes são ligados.

Em (1), apenas as lâmpadas estão ligadas e a corrente

no circuito
Símbolo eficaz que
vem da fornecedora de energia
é de 1,0 A 60 A (0,5 A para
cada lâmpada). Com certeza
você está se

lembrando de que, na ligação em paralelo, os
aparelhos



operam de forma independente (o funcionamento de
um
não interfere no funcionamento do outro).

Editora Bernoulli 85

Frente D Módulo 08

A figura (2) mostra que a TV foi ligada. Veja que ela

puxa O chuveiro elétrico

da rede uma corrente de 2,0 A, e, assim, a corrente no disjuntor passa a ser de 3,0 A. O chuveiro é um equipamento bastante familiar a todos.

Em certo momento, figura (3), o motor da geladeira se Entretanto, como é o funcionamento do chuveiro para

arma, e uma corrente de 2,0 A percorre o seu circuito. que possamos tomar banho com a água na temperatura

A partir daí, a corrente no disjuntor é de 5,0 A. desejada? Bem simples. Veja a seguir.

Enquanto você estava assistindo à TV, sua irmã



foi tomar banho (4). O chuveiro necessita de uma



corrente de 45 A e, dessa forma, a corrente total que atravessa o disjuntor é de 50 A. E, justamente



nesse momento, seu irmão resolveu passar roupa.

Resistor Com o funcionamento do ferro elétrico, que utiliza uma corrente



de 15 A, a corrente total no disjuntor passaria para 65 A.

Passaria... Mas, o que acontece? Como o disjuntor suporta

60 A no máximo, ele vai desarmar e cortar todo o
Dentro do chuveiro, existe um resistor, conforme
mostrado

fornecimento de energia para a sua casa. Lá se foram a
na figura anterior. O resistor pode queimar e, assim,

precisará ser substituído. No entanto, o que vai
queimar é

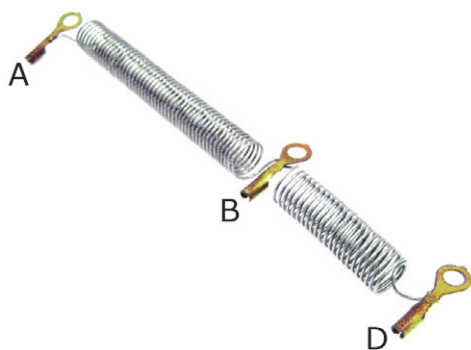
TV e o banho quente. (Você conhece uma história
parecida

o resistor, e não a sua resistência! Esta não queima,
pois
com essa?)

é uma propriedade do resistor (que continua a existir
nos

O circuito representado anteriormente está mal dimensionado. A solução seria chamar o eletricista e pedir

para ele colocar um disjuntor que suporte uma corrente maior?



Não. Se ele fizer isso, o disjuntor não vai mais se desarmar e, portanto, vai perder a sua função – que é a de proteger o circuito elétrico da residência. Embora a

resistência dos fios (r) tenha sido desprezada até agora,

ela existe, e esses fios, percorridos por correntes elevadas,

também se aquecem ($P = rI_2$). Assim, o que determina o

dimensionamento do disjuntor é a espessura (chamada

Observe o resistor da figura anterior. Note que o resistor

“bitola”) dos fios do circuito. Para correntes elevadas, seria do chuveiro apresenta três bornes por onde a corrente pode

necessário trocar a fiação do circuito, utilizando fios mais circular. Vamos analisar um tipo de circuito de ligação de

grossos. Esse é o principal motivo para que uma residência chuveiro bem simples, mostrado a seguir.

apresente vários circuitos independentes, cada um com a $R_{AB} = 2,4 \, \Omega$ $R_{BD} = 1,6 \, \Omega$ sua fiação, seu disjuntor e os aparelhos a ele ligados.

Uma sugestão importante: localize a caixa de disjuntores C

em sua casa e chame um amigo para lhe ajudar. Ligue todos A B D os aparelhos simultaneamente. Desligue um disjuntor de CH cada vez e descubra, e, principalmente, anote na própria

caixa quais aparelhos aquele disjuntor está protegendo.

$$V_{REDE} = 120 \, V$$

Assim, havendo necessidade de se desligar determinado

aparelho, você vai cortar a corrente dele especificamente. A rede elétrica fica ligada entre o ponto A e a chave

Isso pode ser útil, principalmente à noite, pois não ficará seletora de temperatura. Na figura anterior, a chave (CH)

sem a iluminação das lâmpadas. está conectada ao ponto C. Observe que o circuito está

aberto (uma corrente que viesse da rede pelo ponto A não

teria por onde “sair”, pois os pontos B ou D estão desligados

ALGUNS RESISTORES da rede). Esse banho vai ser uma fria!

IMPORTANTES $R_{AB} = 2,4 \, \Omega$ $R_{BD} = 1,6 \, \Omega$

Uma aplicação muito comum do resistor é a sua utilização C I AD

nos sistemas de aquecimento. Neles, o fato de o resistor A B D apresentar uma resistência e, por meio do efeito Joule, I CH AD

transformar a energia elétrica em energia térmica (“calor”)

é desejável e é o objetivo de seu uso no aparelho em questão. $V_{REDE} = 120 \, V$

A chave (CH), agora, está ligada ao ponto D, e a corrente

A lâmpada elétrica incandescente

percorre os resistores R e R . A voltagem fornecida ao
AB BD

dispositivo é $V = 120\text{ V}$, e a “resistência do chuveiro”
Sabemos do conforto que é chegar em casa, à noite, REDE

vale $R = 4,0\text{ }\Omega$. Logo, a corrente que percorre o
aparelho é abrir a porta e ligar o interruptor de luz.
Tudo fica iluminado.

$I = V / R = 120 / 4,0 = 30\text{ A}$. O chuveiro dissipa,
então, AD AD AD Porém, como isso funciona? É, também,
graças ao efeito Joule.

uma potência $P_{22} = V / R = 120 / 4,0 = 3\,600\text{ W}$.

AD REDE AD Todo corpo emite radiação eletromagnética.
Você percebe

O banho começou a esquentar!

isso quando chega perto de um forno que está assando
 $R_{AB} = 2,4\text{ }\Omega$ pão de queijo, por exemplo. Dependendo da
temperatura

$R_{BD} = 1,6\text{ }\Omega$ em que o corpo se encontra, ele pode emitir
uma radiação

eletromagnética que ilumina os objetos à sua volta. É
o que

I C acontece com a lâmpada. O seu filamento, ao ser percorrido B_{AD}

A D por uma corrente elétrica, se aquece, fica incandescente e

I CH emite luz. AD

$$V_{REDE} = 120 \text{ V A}$$

A chave (CH), dessa vez, foi conectada ao ponto B. B

A corrente atravessa, apenas, o resistor $R = 2,4 \, \Omega$, AB

que, nesse caso, é a resistência do chuveiro. Assim, Observe, na figura anterior, que o filamento é soldado aos

$I = V / R = 120 / 2,4 = 50 \text{ A}$. Observe que a corrente que pontos A (“pé” da lâmpada) e B (parte metálica da rosca). AB AB AB

percorre o chuveiro aumentou em relação à situação anterior. Dessa forma, para que a lâmpada funcione, a corrente deve

Assim, apesar de a resistência ter diminuído, a potência “entrar pelo pé” e “sair pela rosca” ou vice-versa. O sentido

dissipada vai aumentar, $P_{22} = V / R = 120 / 2,4 = 6000 \text{ W}$. da corrente não importa, pois o filamento se aquecerá da

AB REDE AB

Agora vai sair fumaça! mesma forma, independentemente do sentido dela.

Dentro do bulbo de vidro, existe um gás inerte (não reage

Resumo das variáveis:

com o metal do filamento) e de baixa densidade. Se

FÍSICA

Chave (CH) na posição a densidade do gás não fosse baixa, sua temperatura **C D B**

elevada faria a pressão dentro do bulbo atingir valores

Resistência do chuveiro ∞ 4,0 Ω 2,4 Ω muito elevados, a ponto de “explodir” a lâmpada. A parte

Corrente que circula 0 30 A 50 A amarela na figura anterior é formada de material isolante e

serve, apenas, para dar sustentação ao filamento e à rosca

Potência dissipada 0 3 600 W 6 000 W

da lâmpada.

Água do banho Fria Morna Quente

A ligação convencional, e mais usada, é a associação de

lâmpadas em paralelo. Já sabemos que, em paralelo, elas

Duas considerações, no que diz respeito à água que passa são independentes umas das outras. Assim, podemos ligar

através do chuveiro, merecem destaque: e desligar quantas lâmpadas forem necessárias, sem afetar

o funcionamento das demais.

- A quantidade de água que passa através do chuveiro

não interfere na potência dissipada por este. Se a Quando uma lâmpada é montada, o fabricante dimensiona

torneira jorra menos água, esta fica mais quente o filamento, com uma resistência específica, para que ela, em

porque temos uma quantidade menor de água funcionamento normal, emita a quantidade de luz desejada.

recebendo, a cada instante, a mesma quantidade de Como temos lâmpadas de diversas potências, cada lâmpada

energia fornecida pelo chuveiro.

apresenta uma resistência própria. Observe duas lâmpadas

- com filamentos diferentes. Evite passar pouca água pelo chuveiro fechando a

torneira para esquentar mais a água, pois ela tem a função de refrigerar o chuveiro. Se não há água



suficiente, o chuveiro e a fiação que o liga à rede vão

esquentar muito e podem queimar. Se o seu chuveiro

está aquecendo pouco, compre outro!

É importante ressaltar que tudo o que foi dito a respeito

do chuveiro vale para qualquer outro aparelho usado em

aquecimento, como o forno ou fogão elétrico, o aquecedor

de ambiente, o ferro de solda, o ebullidor (“mergulhão”),

o ferro elétrico e outros.

Frente D Módulo 08

Como determinar a resistência de uma lâmpada?
Vimos, no 2º caso ($V = 60 \text{ V}$), que a potência dissipada _{REAL}

Já sabemos que a resistência pode ser calculada de duas pela lâmpada foi quatro vezes menor do que a potência

maneiras: nominal dela. Isso significa que a lâmpada terá um “brilho”

$$(1) R = V/I = V/P \quad (2) R = \rho(L/A)$$

2 bem menor do que aquele que ela apresentaria caso estivesse funcionando sob as condições nominais e vai iluminar muito

Na última equação, a resistividade (ρ) depende do material pouco. Entretanto, ela não corre o risco de se queimar.

do filamento e da temperatura, mas não das dimensões do

resistor (L/A). Normalmente, os valores de resistividade Você percebeu que, no 3º caso ($V = 240 \text{ V}$), o verbo _{REAL} são dados à temperatura ambiente. Dessa forma, o uso foi colocado no futuro do pretérito? Se a lâmpada for ligada

da equação (2) fica restrito ao cálculo da resistência da em 240 V , ela vai fundir o filamento (“queimar”) e

deixar

lâmpada fria, a não ser que as grandezas sejam dadas para de funcionar. Por esse motivo, nenhum aparelho elétrico

a temperatura da lâmpada acesa. deve ser ligado numa voltagem acima daquela para a qual

foi fabricado, sob o risco de se queimar – a não ser que ele

Quando a lâmpada encontra-se em funcionamento, tenha sido montado com esse objetivo.

a temperatura do filamento pode atingir 3 000 °C, e sua

resistência aumenta muito. Duas grandezas sempre estão Volte à fotografia anterior das duas lâmpadas.

anotadas no bulbo de uma lâmpada: a potência (60 W, por Nela, percebemos que o filamento da lâmpada (1) é mais

exemplo) e a tensão (127 V ou 220 V). Esses valores são grosso que o da lâmpada (2). Portanto, de acordo com a

chamados nominais. A voltagem nominal indica o valor de equação $R = \rho L/A$, a lâmpada (1) possui menor resistência tensão a ser fornecido à lâmpada para que ela dissipe a que a lâmpada (2). A potência nominal de cada uma das

potência que está indicada no bulbo, potência nominal. Assim, lâmpadas pode ser calculada por $P =$

V_2/R . Como a lâmpada para calcular a resistência da lâmpada, em funcionamento, (1) possui menor resistência que a lâmpada (2) e ambas estão

devemos usar a equação (1) da seguinte forma: submetidas à mesma voltagem, conclui-se que a lâmpada (1)



$R_{V_N = 2}$ terá maior potência que a lâmpada (2). De fato, as lâmpadas mostradas são de 100 W e 40 W, respectivamente.

$L P$

N

Aqui, V e P são os valores que vêm indicados no $N N$ **O**
reostato ou potenciômetro

bulbo da lâmpada (voltagem e potência nominais). Muitas vezes, necessitamos que a corrente num circuito

$P = 60 \text{ W}$ e $V = 120 \text{ V}$. A resistência de funcionamento $N N$ Para isso, utilizamos um dispositivo chamado reostato ou dessa lâmpada é dada por $R = V$

$2/P = 120^2/60 = 240 \text{ W}$ L N N Ω potenciômetro. Esse tipo de circuito é muito usado em vários Imagine uma lâmpada com a seguinte especificação: tenha o seu valor variado de forma contínua (analógica).

Vejamos o que acontece se essa lâmpada for conectada a

aparelhos elétricos, como o ventilador, no qual você altera,

fontes de tensão de diferentes valores. Considere que a

de forma contínua, a velocidade de rotação, ou o interruptor

resistência da lâmpada permaneça constante nos três casos.

em quartos de crianças, no controle da intensidade luminosa,

1. Se $V = 120 \text{ V}_{\text{REAL}} \rightarrow$ A lâmpada será percorrida por uma por exemplo.

corrente $I = V/R = 120/240 = 0,50 \text{ A}$ e dissipará REAL L

uma potência $P = P = 60 \text{ W}$. REAL NOMINAL

2. Se $V = 60 \text{ V}$ A corrente que passa pela Real $\rightarrow$

lâmpada será $I = V/R = 60/240 = 0,25 \text{ A}$ REAL L

e a lâmpada estará dissipando uma potência

$P = V^2/R = 60^2/240 = 15 \text{ W}$ (quarta parte da REAL REAL L

potência nominal).

3. Se $V = 240 \text{ V}$ A corrente que passaria pela $R_{\text{real}} \rightarrow$

lâmpada seria $I = V / R = 240/240 = 1,0 \text{ A}_{\text{REAL L}}$

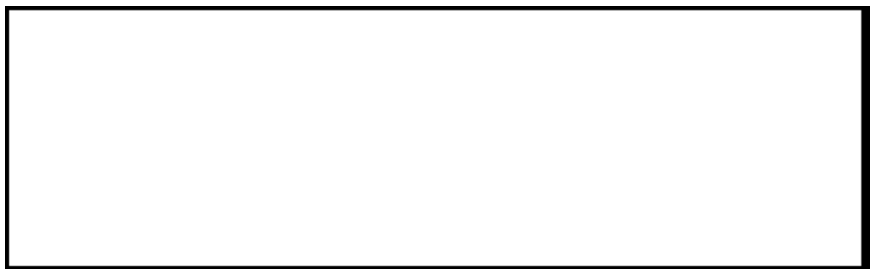
O funcionamento do reostato é simples e baseado no fato e a lâmpada estaria dissipando uma potência

$P = V^2 / R = 240^2 / 240$ de que a resistência varia com o comprimento do resistor a 240 W (quatro vezes $R_{\text{REAL L}}$ ser percorrido por uma corrente ($R \propto L$). O potenciômetro a potência nominal).

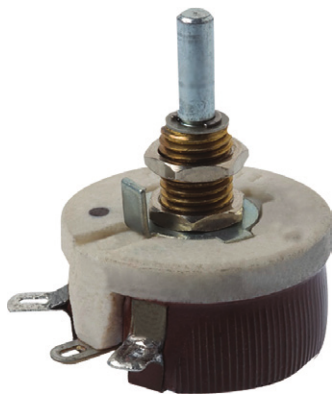
deve ser ligado em série com o aparelho cuja corrente se

Uma consideração importante deve ser feita: quer controlar (ele vai dividir a voltagem com o dispositivo –

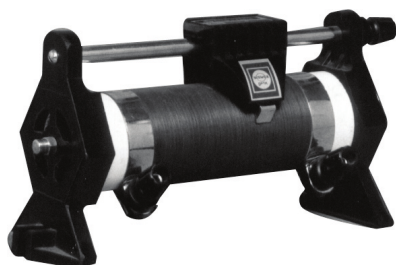
divisor
de
tensão).



O “brilho” de uma lâmpada incandescente está O reostato é representado nos circuitos elétricos pelos



relacionado com a quantidade de energia luminosa **símbolos**
a seguir:



que ela emite a cada segundo. Por isso, para
comparar os “brilhos”, você deve avaliar as potências
realmente dissipadas pelas lâmpadas.

88 Coleção Estudo

Resistores no dia a dia

um contato (C) pode ser deslocado ao longo do
dispositivo. Veja o esquema a seguir. No reostato
deslizante, $\text{AAAAAAAAAAAAAAAA} \text{AAA AAA AA AAAA AAAA AA AA AAAA AA C AA A}$
resistência do reostato (R) aumenta ou diminui de
acordo AAAA AC AAAA AA com a posição do contato. Seja R_a

resistência do ventilador. $v_A B$

Existem vários aparelhos que possuem uma chave com algumas posições que permitem que eles funcionem com maior

I

c ou menor eficiência. É o caso, por exemplo, do liquidificador

e de outros eletrodomésticos. Nestes, não existe reostato.

A B Eles possuem dois ou mais resistores ligados em série

(dentro do aparelho), assim como o chuveiro elétrico.

CIRCUITOS COM LÂMPADAS

I C Conforme já foi citado, o “brilho” de uma lâmpada
(energia

luminosa emitida por ela a cada instante) está
associado à

A B potência real dissipada por ela. Conhecer situações
diversas

a esse respeito e o que acontece quando uma lâmpada
é

inserida ou retirada de um circuito é importante.

Duas ou mais lâmpadas são idênticas se elas
apresentam **FÍSICA**

a mesma resistência. Isso não quer dizer,
necessariamente,

que as lâmpadas dissipam a mesma potência
(forneçam a

V

mesma luminosidade). Vejamos, então, algumas
situações.

I

C

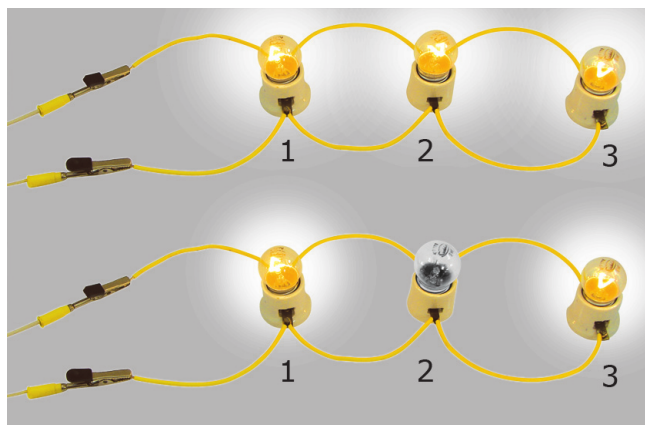
Caso 1:

A B Considere três lâmpadas idênticas ($R = 1\,000\,\Omega$),

A resistência total do circuito é dada por $R = R + R$.
_{v AC} Observe que, se a lâmpada do meio (L associadas em paralelo e ligadas à rede elétrica de 120 V.₂) for desligada ou

Na primeira, o contato está no final do reostato (R se queimar, esta se apaga, e os brilhos das outras duas possui o _{v AC} Observe as três posições do contato nas figuras anteriores.

maior valor possível), a resistência total é grande e a corrente no lâmpadas não são alterados. circuito é pequena (o ventilador gira lentamente). Na segunda



figura, o contato está no meio do reostato (R possui um valor _{v AC}

intermediário), a corrente é maior que aquela do primeiro circuito,

e a velocidade de rotação do ventilador aumenta. Na última,

o contato está no início do reostato (R possui o menor

valor_{AC}

possível, $R = 0$), e a corrente é grande, pois encontra, apenas, _{AC}

a resistência do ventilador. Nesse caso, o ventilador apresenta

a maior velocidade de rotação possível. Assim, utilizando o

reostato, você pode controlar a rotação do aparelho.

No reostato de rotação, você gira o contato (C) para aumentar ou diminuir a resistência do aparelho. Veja a figura Considere a figura a seguir. Nela, a corrente em cada

a seguir. Se girar o contato (C) para a esquerda (sentido lâmpada é de 0,12 A. Você já sabe que, na associação em

anti-horário), você diminui a resistência do reostato e a

paralelo, as lâmpadas funcionam de forma independente.

lâmpada ilumina mais. Se, ao contrário, girar o contato para

Assim, as correntes que passam pelos pontos M, N e P são,

a direita (sentido horário), a resistência aumenta e o brilho

da lâmpada diminui. Reostatos desse tipo são

utilizados em respectivamente, 0,36 A (corrente total), 0,24 A (corrente

ferros elétricos e em geladeiras, nos quais a temperatura é das lâmpadas 2 e 3) e 0,12 A (corrente da lâmpada 3),

controlada pela rotação do reostato. conforme mostrado a seguir.

Editora Bernoulli 89

Frente D Módulo 08

120 V

L_1 L_2 L_3

M N P

0,36 A 0,24 A 0,12 A

Observe que a lâmpada L_1 ilumina mais que as outras duas lâmpadas juntas. A resistência total desse circuito

120 V

é $R = 1\,500\,\Omega$, e a corrente total é $I = 0,08\text{ A}$. Assim,

L_1 L_2 L_3 a corrente na lâmpada L_1 é 0,08 A e nas lâmpadas L_2 e L_3

e L é $I = I = 0,04$ A. Vamos calcular as potências P_1, P_2, P_3 utilizando a equação $P = RI$. As potências de L e L são P_1, P_2, P_3

$$P_1 = P_2 = P_3 = 1\,000(0,04)^2 = 1,6\text{ W (a potência total de } P_1, P_2, P_3)$$

$0,24$ A $0,12$ A $0,12$ A L e L será $P = 3,2$ W). A potência da lâmpada L é P_1, P_2, P_3

circuito quando a lâmpada 2 é desligada, queima ou quebra? O que acontece com as correntes nos pontos M, N e P do total de L e L . Veja o que acontece se a lâmpada L , P_1, P_2, P_3 $P = 1\,000(0,08)^2 = 6,4$ W, maior que a potência P_1

por exemplo, queimar ou for retirada do circuito.

A corrente no ponto P não sofreu qualquer alteração, uma

vez que por ele passa, apenas, a corrente da lâmpada

L ($I = 0,12$ A). Entretanto, as correntes nos pontos M_1, M_2, M_3

e N diminuirão. No ponto N, passavam as correntes das

lâmpadas 2 e 3 ($I = 0,24$ A), e, no ponto M, as correntes

das três lâmpadas ($I = 0,36$ A). Como a do meio é desligada,

as correntes nos pontos N e M são, agora, iguais a $0,12$ A

e 0,24 A, respectivamente.

A potência total dissipada pelas duas lâmpadas que permaneceram no circuito é $P = V.I = 120.0,24 = 28,8 \text{ W}$. Você percebeu que o brilho da lâmpada L aumentou?

e que o brilho da lâmpada L diminuiu? Vejamos por que isso aconteceu. Observe que, agora, a resistência total do

Caso 2:

circuito é $R = 2\,000 \, \Omega$ (as duas lâmpadas ficaram em série).

Sejam duas lâmpadas idênticas, as mesmas da associação A corrente nas lâmpadas é $I = 0,06 \text{ A}$, e a potência de cada

anterior, ligadas em série e conectadas a uma fonte de tensão uma delas é $P = 1\,000(0,06)^2 = 3,6 \text{ W}$. Assim, a potência da

(a mesma da ligação anterior). Perceba, primeiro, que o brilho da lâmpada L diminuiu e o da lâmpada L aumentou. O brilho delas é muito menor do que no caso 1. Agora houve

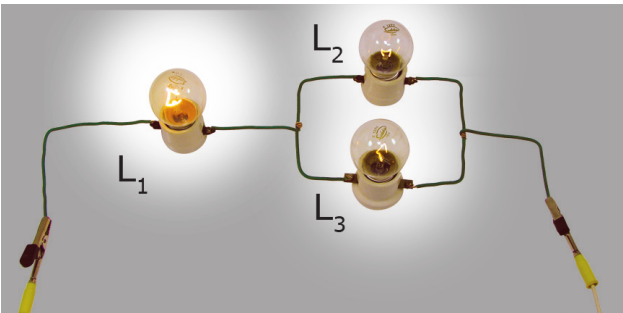
uma divisão da voltagem da fonte de tensão entre as duas lâmpadas. A resistência total delas é $R = 2\,000 \, \Omega$, e a potência total dissipada por elas é $P = 120^2 / 2\,000 = 7,2 \text{ W}$

(quatro vezes menor que do caso 1). As características nominais das lâmpadas são: L (60 W),

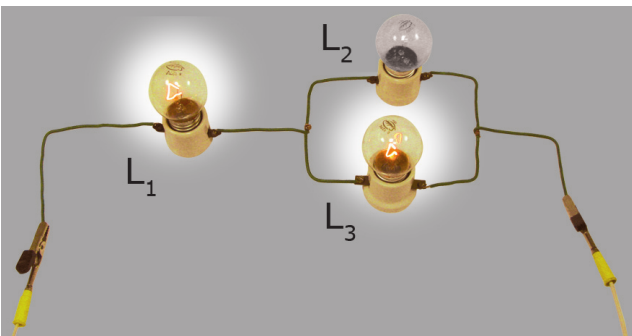
120 V e $240\ \Omega$) e L ($30\ \text{W}$, 120 V e $480\ \Omega$). As lâmpadas L_2 e L são ligadas em série e conectadas à rede ($V = 120\ \text{V}$).₂



Observe que, se qualquer uma das lâmpadas for desligada

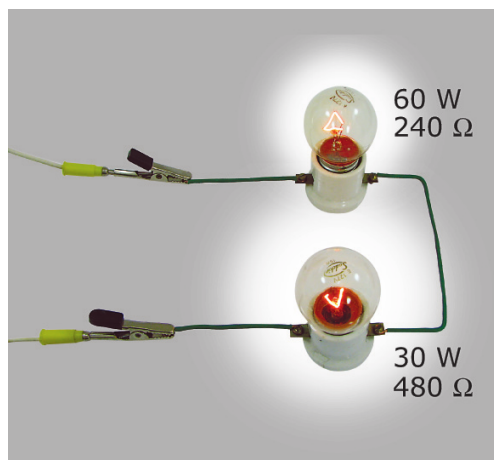


do circuito, queimar ou quebrar, a corrente ficará impedida



de passar por ela (existe um único caminho para ela

circular)



e nenhuma das lâmpadas acenderá.

O circuito é um divisor de tensão. Como $R = 2R$, V_1

Caso 3: temos que $V = 2V$ $V = 40 V$ e $V_1 \Rightarrow = 80 V$.
As potências P_1 P_2

Veja um circuito simples, mas importante, de três R reais das lâmpadas podem ser calculadas por $P = V^2/R$.

lâmpadas idênticas (R Assim, $P = 40 / 240$ $6,67 W$ e $P / 480$ $13,3 W$. $P_1 \approx 1000$) associadas em circuito R Ou seja, a lâmpada de menor potência nominal está

misto e ligadas à rede elétrica de $120 V$. dissipando a maior potência real (brilha mais).

O CURTO-CIRCUITO O CONSUMO DE ENERGIA

Dizemos que um resistor está em curto-circuito se as
ELÉTRICA

suas extremidades estiverem no mesmo potencial elétrico.

Quando isso acontece, não há diferença de potencial (tensão) Com certeza você tem acompanhado as notícias sobre os

entre tais pontos e, assim, não existe corrente passando problemas climáticos, sobre a possibilidade de redução da atividade

pelo resistor. econômica por questões de dependência energética e sobre a busca de fontes energéticas alternativas, economicamente viáveis

O curto-circuito é obtido conectando-se os terminais do e ecologicamente corretas. Agora, mais do que nunca, existe a

resistor (ou da associação de resistores) um ao outro ou necessidade urgente de se economizar energia em todas as suas

ligando-se um fio de resistência desprezível a tais

pontos. formas. E essa é uma atitude ao alcance de todos nós. Basta uma

Vejamos um exemplo de cada situação. mudança nos pequenos hábitos do nosso dia a dia, que não afetarão, significativamente, nosso conforto e nossa segurança.

Considere um circuito formado por um liquidificador, pelos Veja, a seguir, algumas maneiras de contribuir para a

fios de ligação e pela tomada de energia da rede elétrica redução do consumo de energia.

de uma residência. A resistência do circuito é formada pela 1. Tenha o costume de desligar todas as lâmpadas soma das resistências do liquidificador (grande) e dos fios de e todos os aparelhos elétricos (TV, por exemplo)

ligação (pequena) – os fios estão em série com o aparelho. quando sair de um ambiente. Há muita gente que

Nesse caso, a potência dissipada no circuito será $P = V_2 / (R + R)_{LF}$ deixa as “paredes” assistirem à televisão.

2. Quando sair de casa, desconecte da rede elétrica os aparelhos que podem ser desligados.

3. Evite sobrecarregar a geladeira, remova o gelo do congelador semanalmente e abra a porta da geladeira apenas quando for necessário, fechando-a

120 V novamente o mais rápido possível (a geladeira é um

dos aparelhos que mais consomem energia em uma residência).

4. Procure reduzir o tempo do seu banho ou feche a

Se os fios que alimentam o liquidificador fazem contato

um com o outro (por exemplo, se o plástico em volta dos de água também merece a nossa atenção).

FÍSICA torneira enquanto estiver se ensaboando (o desperdício fios derreter), eles fecham um curto-circuito nesse ponto.

Tais atitudes exigem um compromisso diário para a sua

A corrente vai passar por um circuito mais “curto” – apenas

nos fios de ligação, conforme mostrado a seguir. os problemas energéticos do mundo podem ser minimizados. realização. Pode parecer pouco, mas, se todos fizerem sua parte,

Além das mudanças de hábito citadas anteriormente, podemos tomar outras atitudes que contribuam para a economia de energia e que não exigem ação diária.

Veja a

120 V Lâmpada incandescente x lâmpada fluorescente

Nessa situação, a corrente elétrica e a potência dissipada

A lâmpada incandescente comum, a mais utilizada
pela

no circuito serão muito altas, pois a resistência do
circuito

é apenas a dos fios. Dessa forma, pode acontecer de o
eficiência energética muito pequena. O gráfico a
seguir mostra, população na iluminação residencial e
comercial, tem uma

curto-circuito causar incêndio nos fios do
liquidificador e de forma aproximada, o espectro de
emissão de um corpo

nos fios da rede elétrica da casa. Muito cuidado com
isso! aquecido, à temperatura de 3 000 K (temperatura
média

do filamento da lâmpada incandescente em
funcionamento

Outra situação em que pode ocorrer um curto-
circuito normal). Observe que apenas uma pequena
parcela da energia

está mostrada a seguir. Veja que as duas lâmpadas estão emitida pela lâmpada (cerca de 10% a 20%) é convertida em

associadas em série e conectadas à rede elétrica. Se os luz visível, e o restante dessa energia é dissipada na forma de

terminais de uma das lâmpadas forem curto-circuitados por calor radiante (infravermelho). Por esse motivo, a eficiência

um fio de resistência desprezível, essa lâmpada não vai ser energética da lâmpada incandescente é pequena.

percorrida pela corrente elétrica e, dessa forma, apenas a $\sim 10^{-5}$ (10 W/m².Hz) outra lâmpada vai permanecer acesa.



Faixa do

$T = 3\,000\text{ K}$ visível espectro

0 2,0 4,0 6,0 f (10¹⁴ Hz)

Frente D Módulo 08

Veja a figura seguinte, que mostra uma lâmpada

EXERCÍCIO RESOLVIDO

incandescente e uma lâmpada fluorescente compacta.



- 01.** Renata possui em sua residência um chuveiro de 4 800 W, com a chave seletora na posição inverno. Todos os aparelhos elétricos em sua casa apresentam tensão nominal de 120 V. Ela dispõe de tensões de alimentação de 120 V (fase-neutro) e de 240 V (fase-fase). Sempre que o chuveiro é ligado, as lâmpadas do escritório, ligadas no mesmo circuito que o chuveiro, diminuem a intensidade luminosa emitida. Para resolver o problema, ela foi aconselhada a mudar a instalação do chuveiro para 240 V.
- A) Determinar a corrente que percorre o chuveiro e a sua

Vamos comparar as características de uma lâmpada resistência nas condições atuais de funcionamento.

incandescente de 60 W com as características de uma

B) O eletricitista troca o resistor do chuveiro e o instala

lâmpada fluorescente compacta de 15 W. Os valores técnicos

em 240 V. Determinar, nesse caso, a nova resistência

foram obtidos nas embalagens das lâmpadas citadas.

do chuveiro e a corrente que o percorre, de modo

que, quando na posição inverno, ele continue com a

Incandescente Fluorescente potência de 4 800 W.

Potência nominal 60 W 15 W C) Explicar por que as lâmpadas do escritório podem

Eficiência luminosa chuveiro for ligado nessa nova situação.

778 lúmens não mais alterar a intensidade luminosa quando o 1 059 lúmens

(quantidade de luz emitida)

Resolução

(6 horas/dia – 01 ano) Energia consumida A) A corrente elétrica e a resistência do chuveiro, nas 131 kWh 33 kWh condições atuais de funcionamento, são dadas por:

$$\begin{aligned} \text{Custo anual médio R\$ 83,00 R\$ 21,00 } I &= P/V \Rightarrow I = 4 \\ 800/120 &= 40 \text{ A} \end{aligned}$$

Preço médio no mercado Expectativa média $R = V/I = 120/40 =$

3,0 Ω 06 meses 04 anos de vida útil B) A resistência do chuveiro e a corrente elétrica, na nova R\$ 2,00 R\$ 8,00 situação, são:

Veja que a lâmpada fluorescente custa, em média, quatro $R = V_2/P \Rightarrow R = 240_2/4\ 800 = 12\ \Omega$

vezes mais. Porém, ilumina 36% a mais que a lâmpada $I = V/R \Rightarrow I = 240/12 = 20\ A$

incandescente, possui uma vida útil, em média, oito vezes C) O valor da corrente que percorre o chuveiro foi

maior e o seu custo energético anual é, aproximadamente, reduzido à metade. Assim, a queda de tensão na

quatro vezes menor. Diante do exposto, cabe a você decidir fiação da casa diminuiu, o que permite maior tensão

pela troca das lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes. de alimentação para as lâmpadas, fazendo com que

O planeta agradece o seu ato de sensatez! estas não mais alterem sua intensidade luminosa e

evitando o desperdício de energia.

Um alerta importante: compre lâmpadas de fabricantes

confiáveis. Uma pequena economia, com produtos de **EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO** procedência duvidosa, não compensa o risco à sua saúde.

Chuveiro de 127 V x 220 V 01. (UFMG-

2006) Aninha ligou três lâmpadas idênticas à rede

elétrica de sua casa, como mostrado nesta figura:

(ou $220\text{ V} \times 380\text{ V}$) 127 V

Conforme vimos no estudo sobre corrente elétrica, a rede P

elétrica residencial apresenta tensões de 127 V (fase-neutro)

e 220 V (fase-fase). Em algumas cidades, tais valores são,

respectivamente, 220 V e 380 V . Em estudos anteriores, vimos, também, que os fios de ligação, na realidade,

possuem uma pequena resistência. Assim, se a corrente que

os percorre é alta, eles aquecem muito (consumo de energia

desnecessário e perigoso) e provocam uma queda de tensão. Seja V_P a diferença de potencial e i_P a corrente na

significativa na própria fiação. Dessa maneira, uma forma de respectivamente, V_Q lâmpada P. Na lâmpada Q, essas grandezas são, e i_Q .

minimizar a energia desperdiçada seria trocar o resistor do. Considerando-se essas informações, é **CORRETO**

chuveiro por um de maior resistência e aumentar a tensão afirmar que

de alimentação do chuveiro para 220 V (ou 380 V, conforme A) $V < V_e i > i$. C) $V < V_e i = i$. P Q P Q P Q P Q a cidade). Veja o exercício resolvido a seguir. B) $V > V_e i > i$. D) $V > V_e i = i$. P Q P Q P Q P Q

92 Coleção Estudo

Resistores no dia a dia

02. (UFG) Considere um chuveiro cuja chave seletora de **05.** (UFC) Três lâmpadas, L_1 , L_2 e L_3 , são alimentadas por

temperatura alterna-se entre as posições “Inverno” uma bateria ideal V , conforme mostra a figura. As três

(água quente) e “Verão” (água morna). A corrente máxima lâmpadas estão acesas. Quando a chave S é fechada,

nesse chuveiro é 20 A, e a diferença de potencial (d.d.p.) o resultado esperado está indicado na opção:

da rede elétrica local é 220 V. Assim, marque (V) para as L_1

afirmativas **VERDADEIRAS** e (F) para as **FALSAS**.

() Com o chuveiro em funcionamento, a potência máxima

dissipada é 4 400 W. L_3

() Com a chave na posição “Inverno”, para um banho $V S$

quente de 15 minutos, o consumo de energia elétrica L_2 é 1,1 kWh.

() Se a d.d.p. da rede elétrica for reduzida à metade, mantendo-se constante a vazão de água que sai do A) L₁, L₂ e L₃ permanecem acesas. ^{1 2 3}

chuveiro, a variação de temperatura da água diminuirá B) L₁ e L₂ permanecem acesas. ^{1 2} na mesma proporção. C) L₁ permanece acesa, mas L₂ e L₃ se apagam.

() O valor da resistência elétrica é menor com a chave D) L₁ e L₃ se apagam, mas L₂ permanece acesa.

na posição “Verão”. E) As três lâmpadas se apagam.

03. (UFMG) A figura ilustra a forma como três lâmpadas estão

EXERCÍCIOS PROPOSTOS ligadas a uma tomada. A corrente elétrica no ponto A do

fio é i_1 , e no ponto B é i_2 . ^{A B}

01. (UFF-RJ) A figura a seguir mostra o esquema elétrico de um dos circuitos da cozinha de uma casa, no qual está ligada

L uma geladeira, de potência especificada na própria figura. L₁, L₂, L₃

Em cada uma das tomadas I e II, pode ser ligado apenas

um eletrodoméstico de cada vez. Os eletrodomésticos que

podem ser usados são: um micro-ondas (120 V – 900 W),

A B (120 V – 600 W) e uma torradeira (120 V – 850 W). um liquidificador (120 V – 200 W), uma cafeteira

Em um determinado instante, a lâmpada L **FÍSICA** se queima. ²

Pode-se afirmar que

A) a corrente i_A se altera, e i_B não se altera. I II 120 W B) a corrente i_A não se altera, e i_B se altera.

C) as duas correntes se alteram.

D) as duas correntes não se alteram. Quanto maior a corrente elétrica suportada por um fio,

maior é seu preço. O fio, que representa a escolha mais

04. (UFRRJ) Numa residência, são utilizados, eventualmente, econômica possível para esse circuito, deverá suportar,

diversos aparelhos elétricos cujas potências estão entre as opções a seguir, uma corrente de

indicadas no quadro a seguir: A) 5 A. C) 15 A. E) 25 A.

Dispositivo Potência (W) B) 10 A. D) 20 A.

Bomba-d'água 950

02. (UFMG) O circuito da rede elétrica de uma cozinha está 350 representado, esquematicamente, nesta figura:

20 lâmpadas 60 (cada)

Televisão 150

Chuveiro 3 000 127 V L L G F

Ferro de passar 1 100

A residência é alimentada com uma diferença de potencial P Q

de 220 V e está instalado um fusível de 25 A. O fusível se Nessa cozinha, há duas lâmpadas L, uma geladeira G e um

queimará se forem utilizados, simultaneamente, forno elétrico F. Considere que a diferença de potencial na

A) bomba-d'água, 20 lâmpadas de 60 W, televisão e rede elétrica é constante. Inicialmente, apenas as lâmpadas

ferro de passar. e o forno estão em funcionamento. Nessa situação,

B) bomba-d'água, geladeira, chuveiro e ferro de passar. as correntes elétricas nos pontos P e Q, indicados na

C) geladeira, 20 lâmpadas de 60 W, televisão e chuveiro. figura, são, respectivamente, i_P e i_Q . Em um certo instante,

D) bomba-d'água, 20 lâmpadas de 60 W, chuveiro e ferro a geladeira entra em funcionamento. Considerando-se

de passar. essa nova situação, é **CORRETO** afirmar que

E) 20 lâmpadas de 60 W, televisão, chuveiro e ferro de A) i_P e i_Q se alteram. C) i_P e i_Q não se alteram.

passar. B) apenas i_P se altera. D) apenas i_Q se altera.

Editora Bernoulli 93

Frente D Módulo 08

03. (FCMMG) A seguir, são listados quatro dispositivos A) A corrente total no circuito diminui, fazendo com que

residenciais acompanhados de suas especificações a diferença de potencial (d.d.p.) aplicada às lâmpadas

elétricas: diminua e, portanto, a corrente através delas seja

menor

I. Lâmpada de 200 W – 127 V;

B) Embora a diferença de potencial (d.d.p.) nas lâmpadas

II. Geladeira de 400 W – 127 V; permaneça a mesma, a corrente total no circuito

III. Ebulidor de 1 000 W – 127 V; diminui, diminuindo assim a corrente nas lâmpadas.

IV. Chuveiro de 5 000 W – 127 V. C) A corrente total no circuito permanece a mesma,

Qual(is) dos dispositivos relacionados pode(m) ser chuveiro, sobra menos corrente para as lâmpadas. mas como a maior parte dela passa através do

instalado(s) em uma residência, sem riscos de provocar

D) A corrente total no circuito aumenta, aumentando

incêndio, se os fios usados suportam uma corrente

máxima de 5 A? corrente através delas. assim a resistência das lâmpadas, o que diminui a

A) Apenas I E) A corrente total no circuito aumenta, causando maior

B) Apenas I e II queda de potencial através de r e diminuindo assim

C) Apenas I, II e III a diferença de potencial (d.d.p.) e a corrente nas

D) Todos lâmpadas.

04. 06. (UNIPAC-MG) Um chuveiro, geralmente, tem uma chave (UDESC–2008) Em Santa Catarina, as residências para ajustar a temperatura do banho conforme a estação recebem energia elétrica da distribuidora Centrais do ano. Sobre esse tipo de chuveiro, afirma-se: Elétricas de Santa Catarina S. A. (CELESC), com tensão I. Ao mudar a posição da chave para “Verão”, de 220 V, geralmente por meio de dois fios que vêm da a temperatura do banho é menor, pois nessa posição rede externa. Isso significa que as tomadas elétricas, nas a resistência elétrica é menor. residências, têm uma diferença de potencial de 220 V. II. Na posição “Inverno”, o banho é mais quente, pois Considere que as lâmpadas e os eletrodomésticos nesse aquecimento, de acordo

com o efeito Joule, comportam-se como resistências. Pode-se afirmar que, quanto menor a resistência, maior será a dissipação em uma residência, a associação de resistências e a de energia. corrente elétrica são, respectivamente, III. Tanto na posição “Verão” quanto na posição “Inverno”, A) em série; igual em todas as resistências. a temperatura do banho depende da vazão da água.

B) em série; dependente do valor de cada resistência. IV. A posição da chave altera a temperatura do banho,

C) mista (em paralelo e em série); dependente do valor pois permite variar a diferença de potencial aplicada

de cada resistência. à resistência do chuveiro.

D) em paralelo; independente do valor de cada Assinale a opção que apresenta as afirmativas

resistência. **VERDADEIRAS.**

A) I e II C) II e III E) III e IV

E) em paralelo; dependente do valor de cada resistência.

B) I e III D) II e IV

05. (UFF-RJ-2008) Em residências antigas, era comum que **07.** (EFOA-MG) O circuito elétrico de um chuveiro comum

todos os eletrodomésticos fossem ligados a um único consiste de duas resistências (R_1 e R_2) e uma chave (S),

circuito elétrico, em geral, montado com fios de ligação ligadas a uma fonte de tensão (V). A posição da chave S

finos. Um modelo desse tipo de circuito está esquematizado pode ser ajustada em uma das três situações ilustradas

na figura a seguir, em que r representa a resistência a seguir, a fim de permitir, em cada caso, uma diferente

total dos fios de ligação. Ao ligar eletrodomésticos com temperatura da água do banho.

diminuição no brilho das lâmpadas. Marque a alternativa R R R₁ R_{1 2}
 resistência baixa, como chuveiros elétricos, percebia-se uma R₂ R₂
 que justifica tal diminuição no brilho das lâmpadas.

S S S

Chuveiro

V V V

Lâmpada Situação I Situação II Situação III

Os banhos correspondentes às situações I, II e III são,

respectiv

Lâmpada

A) frio, quente e morno.

B) morno, quente e frio.

r C) quente, frio e morno.

D) quente, morno e frio.

E) morno, frio e quente.

94 Coleção Estudo

Resistores no dia a dia

08. (UFMG) Na sala da casa de Marcos, havia duas lâmpadas **11.**
 (PUC RS–2006) Um eletricitista tem uma tarefa

que eram ligadas / desligadas por meio de um único para resolver:
 precisa instalar três lâmpadas, cujas

interruptor. Visando a economizar energia elétrica, Marcos

especificações são 60 W e 110 V, em uma residência

decidiu instalar um interruptor individual para cada onde a tensão é 220 V. A figura a seguir representa os

lâmpada. Assinale a alternativa em que está representada três esquemas considerados por ele.

uma maneira **CORRETA** de se ligarem os interruptores e as lâmpadas, de modo que cada interruptor acenda e apague uma única lâmpada.

A) 127 V 127 V B) 127 V 127 V C) 127 V 127 V D) 127 V 127 V

220 V 220 V 220 V

Esquema 1 Esquema 3 Esquema 2

Analisando os elementos da figura, é **CORRETO** concluir



que, no esquema



09. (UFMG–2010) Um professor pediu a seus alunos que B) 2, duas lâmpadas queimarão, e a outra terá seu brilho A) 1, todas as lâmpadas queimarão.

ligassem uma lâmpada a uma pilha com um pedaço diminuído.



de fio de cobre. Nestas figuras, estão representadas as



C) 3, todas as lâmpadas terão seu brilho diminuído.



montagens feitas por quatro estudantes:



D) 1, só uma das lâmpadas queimarão, e as outras não



acenderão.



– + – + E) 2, duas lâmpadas exibirão brilho normal.



Carlos João **12.** (UFMG–2007) Em uma experiência, Nara conecta



lâmpadas idênticas a uma bateria de três maneiras



diferentes, como representado nestas figuras:



– +



– + Bateria Bateria Bateria

Mateus Pedro

Considerando-se essas quatro ligações, é **CORRETO FÍSICA**

afirmar que a lâmpada vai acender apenas

A) na montagem de Mateus. Q R S

B) na montagem de Pedro. Considere que, nas três situações, a diferença de

C) nas montagens de João e Pedro. potencial entre os terminais da bateria é a mesma,

D) nas montagens de Carlos, João e Pedro. e os fios de ligação têm resistência nula. Sejam P_Q ,

P_R e P_S os brilhos correspondentes, respectivamente,

10. às lâmpadas Q, R e S. Com base nessas informações,

(FUVEST-SP) Quatro lâmpadas idênticas L, de 110 V, é **CORRETO** afirmar que

devem ser ligadas a uma fonte de 220 V a fim de produzir, A) $P > P$ e $P = P \cdot C$) $P > P$ e $P > P \cdot Q$

sem queimar, a maior claridade possível. Qual a ligação $R R S Q R R S$ B) $P = P$ e $P > P \cdot D$) $P < P$ e $P = P \cdot Q$

MAIS adequada? $R R S Q R R S$

A) L (UFMS–2006) As quatro lâmpadas idênticas, representadas **13.**

na figura, acendem quando os extremos A e B do circuito

L L são ligados a uma fonte de tensão constante. Queimada

L a lâmpada 3, é **CORRETO** afirmar:

B) L 1 4

C)

L L A) As lâmpadas 1, 2 e 4 tornam-se mais brilhantes.

L B) As lâmpadas 1, 2 e 4 permanecem com o mesmo L

brilho.

D) C) As lâmpadas ficam com brilhos desiguais, sendo que a 1 L

L é a mais brilhante. L D) As lâmpadas 1 e 4 irão brilhar menos, e a lâmpada 2

L irá brilhar mais do que quando a lâmpada 3 não está

queimada.

E) Ficam com intensidades desiguais, sendo que a 1 torna-se

E)

L L L L mais brilhante do que quando a lâmpada 3 não está

queimada.

Editora Bernoulli 95





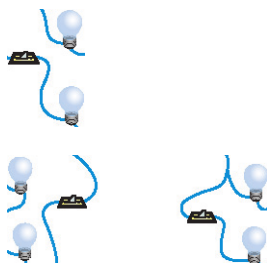
■

■

■

■

■



Frente D Módulo 08

14. (UFMG) Três lâmpadas A, B e C estão ligadas a uma A) bateria de resistência interna desprezível. Ao se “queimar” a lâmpada A, as lâmpadas B e C permanecem acesas com o mesmo brilho de antes. A alternativa que indica o circuito em que isso poderia acontecer é

A) A B)

C

B

B) B

A

C C)

C) A

B

C D)

D) A B

C

E) A B C **17.** (UFMG) Duas lâmpadas – L_{60} e L_{100} – são ligadas a uma

15. tomada, como representado na figura. A lâmpada L_{60} é de (PUC Rio) Considere duas situações. Na situação A, 60 W e a L_{100}

é de 100 W. Sejam V_{60} a diferença de potencial

uma lâmpada é conectada a uma bateria, e, na situação B, e I_{60} a corrente elétrica na lâmpada L_{60} . Na lâmpada

duas lâmpadas iguais são conectadas em série à mesma bateria. L₁₀₀, esses valores são, respectivamente, V_{100} e I_{100} .

Comparando-se as duas situações, na situação B, a bateria provê Considerando-se essa situação, é **CORRETO** afirmar que

L_{60} L_{100}

A B

A) $V < V$ e $I < I$. C) $V = V$ e $I < I$. $60\ 100\ 60\ 100\ 60\ 100\ 60\ 100$

A) a mesma luminosidade. B) $V_{60} < V_{100}$ e $I_{60} = I_{100}$. D) $V_{60} = V_{100}$ e $I_{60} > I_{100}$.

B) maior corrente. 18. (UFPEL-RS-2006) Considere que L e L são duas lâmpadas

C) menor corrente. 1 2

iguais que inicialmente apresentam o mesmo brilho.

D) maior luminosidade.

Quando a lâmina bimetálica aquece e enverga, fecha-se

E) menor voltagem. o circuito. Quando o circuito é fechado, é
CORRETO

16. afirmar que (UFMG-2006) Uma menina, ao brincar com fios de cobre,

V

lâmpadas de lanterna e uma pilha, observou que poderia acender uma das lâmpadas ligando-a à pilha, como no desenho a seguir. Ela, então, ligou três lâmpadas à pilha de tal modo que obteve máxima iluminação. Sabe-se que, quanto maior for a corrente elétrica que passa por uma lâmpada, maior será a L_1 L quantidade de luz emitida a cada segundo, ou seja, maior será 2 a sua iluminação. Assinale a alternativa em que se encontra representada a ligação que poderia ter sido feita pela menina.

Lâmpada

de lanterna AB

A) a lâmpada L_1 aumenta seu brilho, enquanto a lâmpada

L_2
não
acende

Fio de B) as lâmpadas L_1 e L_2
diminuem o brilho. cobre 1 2

C) a lâmpada L_1 não acende, e a L_2 aumenta o brilho.

D) as lâmpadas L_1 e L_2 aumentam o brilho.

Pilha E) as lâmpadas L_1 e L_2 permanecem com o mesmo brilho.

96 Coleção Estudo

Resistores no dia a dia

SEÇÃO ENEM 03. (Enem–1999) Lâmpadas

incandescentes são normalmente projetadas para trabalhar com a tensão da rede elétrica

em que serão ligadas. Em 1997, contudo, lâmpadas

01. (Enem–2010) Observe a tabela seguinte. Ela traz projetadas para funcionar com 127 V foram retiradas

especificações técnicas constantes no manual de instruções do mercado e, em seu lugar, colocaram-se lâmpadas

fornecido pelo fabricante de uma torneira elétrica. concebidas para uma tensão de 120 V. Segundo dados

recentes, essa substituição representou uma mudança

Modelo Torneira significativa no consumo de energia elétrica para cerca

Tensão nominal (volts) de 80 milhões de brasileiros que residem nas

regiões em 127 220

que a tensão da rede é de 127 V.

Frio Desligado A tabela a seguir apresenta algumas características de

Potência duas lâmpadas de 60 W, projetadas, respectivamente,
para nominal

Morno 2 800 3 200 2 800 3 200

(watts) 127 V (antiga) e 120 V (nova), quando ambas encontram-se

Quente 4 500 5 500 4 500 5 500 ligadas numa rede de 127 V.

Corrente nominal (Ampères) 35,4 43,3 20,4 25,0 **Lâmpada Tensão
Potência Luminosidade Vida útil**

(projeto da rede medida medida média

Fiação mínima (Até 30 m) 6 mm² 10 mm² 4 mm² 4 mm² **original) elétrica
(watt) (lúmens) (horas)**

Fiação mínima (Acima 30 m) 10 mm² 16 mm² 6 mm² 6 mm² 60 W – 127 V
127 V 60 750 1 000

Disjuntor (ampères) 40 50 25 30 60 W – 120 V 127 V 65 920 452

Disponível em:

Torneira%20Suprema/-Manual_Torneira_Suprema_roo.pdf> .
Acender uma lâmpada de 60 W e 120 V em um local

onde a tensão na tomada é de 127 V, comparativamente

Considerando que o modelo de maior potência da a uma lâmpada
de 60 W e 127 V no mesmo local, tem

versão 220 V da torneira suprema foi inadvertidamente como
resultado

conectado a uma rede com tensão nominal de 127 V, A) mesma
potência, maior intensidade de luz e maior

e que o aparelho está configurado para trabalhar em sua
durabilidade.

máxima potência, qual o valor aproximado da potência B) mesma potência, maior intensidade de luz e menor

ao ligar a torneira? durabilidade. **FÍSICA**

A) 1 830 W D) 4 030 W C) maior potência, maior intensidade de luz e maior

B) 2 800 W durabilidade. E) 5 500 W

D) maior potência, maior intensidade de luz e menor

C) 3 200 W

durabilidade.

02. E) menor potência, menor intensidade de luz e menor (Enem–2002) Entre as inúmeras recomendações dadas durabilidade. para a economia de energia elétrica em uma residência,

destacamos as seguintes: **Instrução:** Gráfico para as questões **04** e **05**

● Substitua lâmpadas incandescentes por fluorescentes A distribuição média, por tipo de equipamento, do

compactas. consumo de energia elétrica nas residências no Brasil é

● Evite usar o chuveiro elétrico com a chave na posição apresentada no gráfico a seguir.

● Acumule uma quantidade de roupa para ser passada “inverno” ou “quente”. Máquina de Outros Chuveiro lavar 5% 25% TV 5% a ferro elétrico de uma só vez. 10%

● Evite o uso de tomadas múltiplas para ligar vários Ferro

aparelhos simultaneamente. Elétrico

● Utilize, na instalação elétrica, fios de diâmetros 5%

recomendados às suas finalidades. Lâmpadas

incandescentes

A característica comum a todas essas recomendações é a 20%
Geladeira

proposta de economizar energia através da tentativa de, 30%

no dia a dia, reduzir **04.** (Enem–2001) Em associação com
os dados do gráfico,

A) a potência dos aparelhos e dispositivos elétricos.

considere as variáveis:

B) o tempo de utilização dos aparelhos e dispositivos. I. Potência do
equipamento.

C) o consumo de energia elétrica convertida em energia II. Horas de
funcionamento.

térmica. III. Número de equipamentos.

D) o consumo de energia térmica convertida em energia O valor das
frações percentuais do consumo de energia

elétrica. depende de

E) o consumo de energia elétrica através de correntes A) I, apenas.
C) I e II, apenas. E) I, II e III.

de fuga. B) II, apenas. D) II e III, apenas.

Editora Bernoulli **97**

Frente D Módulo 08

05. (Enem–2001) Como medida de economia, em uma O

superaquecimento da fiação, devido a esse aumento

residência com 4 moradores, o consumo mensal médio da corrente elétrica, pode ocasionar incêndios, que

de energia elétrica foi reduzido para 300 kWh. Se essa seriam evitados instalando-se fusíveis e disjuntores que

residência obedece à distribuição dada no gráfico, e se interrompem essa corrente, quando a mesma atinge um

nela há um único chuveiro de 5 000 W, pode-se concluir valor acima do especificado nesses dispositivos de proteção.

que o banho diário de cada morador passou a ter uma Suponha que um chuveiro instalado em uma rede elétrica

duração média, em minutos, de de 110 V, em uma residência, possua três posições de

A) 2,5. regulação da temperatura da água. Na posição verão,

B) 5,0. utiliza 2 100 W, na posição primavera, 2 400 W, e na

posição inverno, 3 200 W.

C) 7,5.

D) 10,0. GREF. *Física 3: Eletromagnetismo*. São Paulo: EDUSP, 1993

(Adaptação).

E) 12,0.

Deseja-se que o chuveiro funcione em qualquer uma das

06. (Enem–2009) Considere a seguinte situação hipotética: três posições de regulação da temperatura, sem que

ao preparar o palco para a apresentação de uma peça de haja riscos de incêndio. Qual deve ser o valor mínimo

teatro, o iluminador deveria colocar três atores sob luzes adequado do disjuntor a ser utilizado?

que tinham igual brilho, e os demais, sob luzes de menor

brilho. O iluminador determinou, então, aos técnicos,
que instalassem no palco oito lâmpadas incandescentes B) 30 A
com a mesma especificação (L_1 a L_8), interligadas em um C) 25 A
circuito com uma bateria, conforme mostra a figura. D) 23 A

L_1 L_2 L_3 L_4 L_5 L_6 L_7 L_8 E) 20 A

L_1 L_2 L_3 L_4 L_5 L_6 L_7 L_8

E L_8 **GABARITO**

L_1 L_2 L_3 L_4 L_5 L_6 L_7 L_8 **Fixação**

Nessa situação, quais são as três lâmpadas que acendem 01. B
com o mesmo brilho por apresentarem igual valor de
corrente fluindo nelas, sob as quais devem se posicionar 02. V V F F
os três atores? 03. A

A) L_1 , L_2 e L_3 04. D

B) L_2 , L_3 e L_4 05. C

C) L_2 , L_5 e L_7 Propostos D) L_1 , L_2 e L_3 56

E) L_4 , L_7 e L_8

07. (Enem–2010) Quando ocorre um curto-circuito em uma 02. B 06. C 10. C 14. C 18. A

instalação elétrica, como na figura, a resistência elétrica

03. B 07. C 11. E 15. C

total do circuito diminui muito, estabelecendo nele uma

corrente muito elevada. 04. E 08. B 12. B 16. C

Seção Enem

01.
A

02.
C

03.
D

04.
E

05.
C

06.
B

07.
B

09 D elétricas

Até aqui, estudamos a tensão, a corrente e a resistência a corrente através da lâmpada seria $I = 1,20 \text{ A}$ (valor dado

elétrica. Aprendemos alguns princípios e relações entre essas por $I = V / R$). No caso ideal, o amperímetro não possui R_{AB} grandezas e os usamos para resolver muitos problemas de resistência interna. Assim, a sua presença não afetaria a

circuitos elétricos. Agora, vamos tratar especificamente da resistência equivalente do circuito, de forma que a sua leitura

medição dessas três grandezas elétricas. As medições de seria exatamente igual a $1,20 \text{ A}$. No caso real, contudo,

corrente, tensão e resistência elétrica são realizadas por o amperímetro apresenta uma pequena resistência interna.

meio de instrumentos de medidas elétricas denominados Se esse valor for $R = 0,10 \Omega$, a resistência equivalente R_A de amperímetro, voltímetro e ohmímetro, respectivamente. do circuito será igual a $10,1 \Omega$, e a corrente será reduzida

a $1,19 \text{ A}$. Esse é o valor que o amperímetro registrará.

Iniciaremos este módulo discutindo os procedimentos

Como a resistência do amperímetro é muito menor
que

básicos para realizar medições de corrente e tensão

elétrica por meio de amperímetros e voltímetros.

Depois, a resistência da lâmpada ($0,10\ \Omega$ é 100 vezes
menor que

$10,0\ \Omega$), a corrente registrada no aparelho é
praticamente

veremos os procedimentos para medir a resistência
por

igual ao valor da corrente no circuito original (sem a
presença

meio de ohmímetros. Veremos ainda que a
determinação

do amperímetro). Nesse caso, o erro é menor que 1%.

da resistência pode ser feita indiretamente, por meio
de

medições simultâneas de corrente e de tensão,
utilizando Amperímetro amperímetros e voltímetros,
respectivamente. Na parte

final do módulo, analisaremos um importante circuito
usado A A

em medições elétricas de precisão, a ponte de
Wheatstone.

Fonte de tensão Lâmpada

MEDIÇÃO DA CORRENTE _B

ELÉTRICA *Figura 1: Montagem para medição da corrente elétrica.*

Para medir a corrente que passa por um elemento de

MEDIÇÃO DA TENSÃO ELÉTRICA

circuito elétrico (um resistor, por exemplo), basta inserir

um amperímetro em série com esse elemento, de forma

Considere um circuito com dois resistores, ambos de que ambos sejam percorridos pela mesma corrente

resistência R , ligados em série e alimentados por uma fonte

elétrica. Como o amperímetro possui certa resistência de tensão $V = 12 \text{ V}$. Obviamente, como as resistências são _{AB}

elétrica, a resistência equivalente do circuito aumenta um

iguais, as tensões nos resistores também são iguais, cada uma

pouco, e a corrente torna-se um pouco menor quando

esse

valendo 6 V. Podemos medir a tensão elétrica em um dos

instrumento é inserido no circuito. Idealmente, a resistência

resistores, inserindo um voltímetro em paralelo com ele, como

do amperímetro deveria ser ínfima, de modo a provocar

mostra a figura 2, de forma que a tensão no voltímetro seja

uma redução insignificante no valor da corrente a ser

igual à tensão nesse resistor. Porém, como o voltímetro é

medida. Todavia, desde que a resistência do amperímetro

ligado em paralelo, a sua presença reduz a resistência entre os

seja pequena comparada à resistência do elemento,

pontos C e B, provocando um aumento da corrente no circuito.

a leitura de corrente indicada pelo instrumento será muito O resultado é que a tensão V no outro resistor torna-se um _{AC}

próxima do valor real. A seguir, apresentamos um exemplo

para ilustrar isso. pouco maior que 6 V, enquanto a tensão V fica um pouco _{CB}

inferior a 6 V. Para que o efeito da medição de
voltagem sobre

Considere a figura 1, que mostra um circuito elétrico
um circuito seja minimizado, o voltímetro deve
possuir uma

constituído por uma fonte de tensão $V = 12,0 \text{ V}$, uma
resistência muito grande, bem maior que a resistência
do _{AB}

lâmpada de resistência elétrica $R = 10,0 \text{ } \Omega$ e um
amperímetro. resistor ao qual o voltímetro é ligado em
paralelo, de modo

Observe que o amperímetro está ligado em série com a
que a resistência equivalente, praticamente, não seja
alterada

lâmpada. Sem a presença do amperímetro no circuito,
com a presença do instrumento.

Editora Bernoulli 99

Frente D Módulo 09

A

R . c

k Ω

Bateria Ω A V de R V Voltímetro

12 V

B A V Ω COM

Figura 2: Montagem para medição da tensão elétrica.

Agora, vamos considerar os seguintes valores para ilustrar

a discussão do parágrafo anterior: a resistência de cada

resistor é $R = 100 \text{ Resistor } \Omega$, e a resistência interna do voltímetro

é $R = 900 \text{ } \Omega$. Sem a presença do voltímetro, a resistência *Figura 3: Medição da resistência elétrica.* equivalente do circuito vale 200Ω , e a corrente elétrica no circuito é igual a $0,060 \text{ A}$ (valor dado por $I = 12/200$). Com a A resistência de um resistor pode ser obtida indiretamente,

introdução do voltímetro no circuito, a resistência do trecho CB ligando-o a uma bateria e medindo-se a tensão V e a corrente I

diminui para o seguinte valor: no resistor. A razão $R = V/I$ nos fornece o valor dessa

R R R . resistência. Nesse caso, um amperímetro e um voltímetro são $100 \text{ } 900 \text{ } \Omega$

$= R_{CB} = 90 \, \Omega$ necessários para registrar os valores da tensão e da corrente. $R_R + 100 \, 900 \, V +$ O exercício resolvido 01 apresenta uma discussão interessante

Assim, a resistência equivalente do circuito diminui para sobre essa metodologia de medição da resistência elétrica.

$R = 190 \, \Omega$, enquanto a corrente no circuito torna-se maior

e igual a: **EXERCÍCIO RESOLVIDO**

$$I_{V12AB} = 0,063 \, A \quad R = 190 \, \Omega$$

Considere que o resistor da figura 3 seja ligado conforme

o circuito mostrado esquematicamente na figura a seguir.

Finalmente, multiplicando essa corrente pelas resistências A resistência do voltímetro é $R = 40 \, k\Omega$ e a do

dos trechos AC e CB, obtemos as tensões elétricas amperímetro é $R_A = 2 \, \Omega$. Em relação à medição direta

correspondentes: mostrada na figura 3, calcular o erro cometido se a

resistência R do resistor for calculada pelo quociente entre

$$V = 90 \cdot 0,063 = 5,7 \, V \quad \text{e} \quad V = 100 \cdot 0,063 = 6,3 \, V_{CB}$$

AC a leitura do voltímetro e a do amperímetro.

Observe que a introdução do voltímetro no circuito alterou

a distribuição de tensões nos resistores (antes, a tensão em

cada resistor era 6 V). Como o voltímetro registra um valor $R_V R + V$ igual a 5,7 V, existe um erro de 5% nessa medição. Para 12 V – reduzir o erro, um voltímetro de melhor qualidade (de maior resistência interna) deve ser usado.

A R_A

Resolução

PARA REFLETIR

Nesse circuito, o voltímetro mede a tensão no resistor.

Por que os amperímetros, em geral, possuem Porém, o amperímetro não mede a corrente no resistor,

um fusível interno para proteger o circuito interno, mas a soma da corrente que passa pelo resistor com a

corrente que passa pelo voltímetro. Podemos calcular

mas os voltímetros não?

a corrente e a tensão no resistor a partir dos valores numéricos fornecidos no problema. Para isso, primeiro devemos calcular a resistência equivalente do circuito.

MEDICÃO DA RESISTÊNCIA

A resistência equivalente do resistor e do voltímetro é:

ELÉTRICA

$$R_{R + 240V} = \frac{R \cdot 240}{R + 240} = \frac{1905 \cdot 240}{1905 + 240} = 1905 \Omega$$

Podemos medir a resistência elétrica de um resistor E a resistência equivalente do circuito é:

ligando-o diretamente aos terminais de um ohmímetro. $R = R + R' = 2 + 1\,905 = 1\,907\,\Omega$ A figura 3 ilustra a medição da resistência elétrica de um resistor de resistência nominal igual a 2,0 k. Então, a corrente total (registrada no amperímetro) é: I , por meio dessa

técnica. Observe que, para realizar a medição, o resistor V_{bat} $I = 12 = 0,00629$, A deve estar isolado, isto é, desconectado do seu circuito $R = 1\,907\,\Omega$ elétrico de origem.

100 Coleção Estudo

Instrumentos de medidas elétricas

Com o valor dessa corrente, podemos calcular a tensão A
PONTE DE WHEATSTONE

elétrica entre os terminais do amperímetro:

$V = R \cdot I = 2,0 \cdot 0,00629 = 0,0126\,V$ A Uma ponte de Wheatstone é um circuito elétrico

constituído por uma rede de quatro resistores, três de

Portanto, a tensão entre os terminais do resistor e do valores fixos (R_1 , R_2 e R_3) e um quarto variável R_x , $1\,2\,3\,V$

voltímetro (registrada por esse instrumento) é: ligados entre si, como mostra a figura 4. O circuito é

alimentado por uma fonte de tensão V , e um galvanômetro AB

$V' = V - V = 12 - 0,0126 = 11,987 \text{ V}$ $_{bat A}$ detecta a corrente entre os pontos M e N. A resistência R_v

Assim, nesse circuito, o voltímetro marca uma tensão pode ser ajustada de modo que os potenciais elétricos

de $11,987 \text{ V}$, e o amperímetro marca uma corrente dos pontos M e N sejam exatamente iguais. Quando esse

de $0,00629 \text{ A}$. Como o quociente entre esses valores equilíbrio é atingido, o galvanômetro não indica passagem

representa a resistência do resistor, temos: de corrente ($I = 0$). Um amperímetro pode ser usado para G

$R V' 11 987$, que a do galvanômetro. O uso do galvanômetro, todavia, $= = = 1 906, \Omega$ achar o equilíbrio da ponte, mas a sua sensibilidade é menor $= 1 906 \text{ k}\Omega$

$I 0 00629$, deve ser feito com a ponte próxima ao equilíbrio, pois uma corrente acima do fundo de escala (que é muito baixo) pode

Esse valor difere em, aproximadamente, 5% do valor

danificar o aparelho.

$R = 2 \text{ k}\Omega$, o que é um erro significativo.

Comentário: $R_1 I R_{G2}$

O erro obtido era esperado, pois a resistência do
voltímetro é apenas 20 vezes maior que a do resistor. A B

G

Por isso, o voltímetro em paralelo com o resistor altera

significativamente o valor da corrente no circuito. A figura I I I R_{vG}
I seguinte mostra uma montagem mais adequada para se $3 v R_3$

obter a resistência do resistor. Agora, o amperímetro é $N +$ que
mede a corrente no resistor, enquanto o voltímetro –

mede a soma da voltagem no resistor com a voltagem

no amperímetro. Como a resistência
do amperímetro é *Figura 4: Ponte de*
Wheatstone. FÍSICA $1\ 000$ vezes menor que a
resistência R , a queda de tensão Observe que, nessa figura, a
ponte não está equilibrada.

causada por esse instrumento é muito pequena. Assim, O
potencial do ponto M é maior que o potencial do
ponto N

a leitura do voltímetro é praticamente igual à
própria ($V > V$), pois a corrente I é voltada para
baixo. Para a $M N G$

tensão no resistor. Faça os cálculos como
anteriormente ponte equilibrada, I vale zero.
Consequentemente, G

e mostre que R , nesse caso, vale $2,00 \text{ k}\Omega$, apresentando as correntes I_1 e I_2 são iguais, o mesmo ocorrendo com as V_1 e V_2

um erro de apenas $0,1\%$. correntes I_1 e I_2 . Além disso, outra igualdade importante $V_1 = V_2$

para a ponte equilibrada é a seguinte:



$$R_1 R_2 = R_3 R_4$$

$$+ R_5 V_1$$

$V_1 = V_2$ – É fácil demonstrar essa igualdade.

Primeiramente, vamos

A determinar uma relação entre as voltagens e as resistências nas partes superior e inferior do circuito. Para isso, podemos usar

as igualdades entre as correntes mencionadas anteriormente.

Assim:

maior que o real, enquanto a primeira montagem forneceu $V_1 = V_2$ Parte de cima: $I_1 = I_2$ Note que essa montagem levou a um valor de resistência

um valor de resistência menor que o real. Mesmo para $I_1 = I_2$ $\Rightarrow R_1 = R_2$ $\Rightarrow R_3 = R_4$ $\Rightarrow R_5 = R_6$

Como comentário final, é importante destacar que essa $V_V R V_{AN NB vAN}$ Parte de baixo: I outros valores numéricos, isso sempre ocorre.

técnica de medição da resistência pode, em certos casos, $V = I \Rightarrow =_3 \Rightarrow R R R V_{v 3 NB}$

implicar um aquecimento do resistor (por exemplo, Como os potências V e V são iguais, concluímos que $M N$

se o resistor for uma lâmpada incandescente). Nesses $V = V$ e $V = V$. Portanto, as frações envolvendo as $AM MB NB$

casos, o quociente entre a tensão e a corrente voltagens nas duas relações anteriores são iguais. Logo,

poderá diferir bastante da resistência obtida a frio as frações envolvendo as resistências podem ser igualadas,

em um ohmímetro, pois a resistência depende da de modo que:

temperatura. Em funcionamento normal, uma lâmpada de $R R_1 =_v$ ou $R . R = R . R 120 V / 40 W$

apresenta uma resistência de $360 \Omega . 1 3 v_2 R R A$ frio, a resistência não passa de $30 \Omega . 2 3$

Para facilitar a memorização dessa equação

(necessária A) Determinar a temperatura do forno se a
regulagem

em alguns vestibulares), observe que as resistências R_1 e R_3 de sinal zero para o milivoltímetro corresponde a

se acham em posições opostas: a primeira situa-se na
parte $R_1 = 15,0 \, \Omega$ esquerda e de cima do circuito,
enquanto a outra está à B) Determinar a maior e a menor
temperatura do forno

direita e embaixo. O mesmo ocorre com as resistências
 R_2 que podem ser registradas por esse sistema. e R_4 . Assim, os
estudantes memorizam essa equação com

a ajuda da seguinte frase: “Em uma ponte de
Wheatstone **Resolução:** equilibrada, os produtos das
resistências opostas são iguais”. Observe que não há um
galvanômetro ou um amperímetro

para medir a corrente entre as extremidades superior e

Agora, vamos estudar algumas aplicações da ponte

de Wheatstone. Uma das utilidades desse circuito é a
inferior do circuito. Nesse sistema, optou-se por medir a

determinação de uma das resistências a partir dos
valores diferença de potencial entre essas extremidades por meio

das outras três. Na figura 4, considere R_1 de um
milivoltímetro. Ajustando a resistência R_1 para um $R_1 = 10,01 \, \Omega$,

$R_2 = 19,99 \, \Omega$ e que a resistência R_3 seja desconhecida.
valor adequado, obtém-se o registro zero dessa diferença

Imagine que a resistência R_4 tenha sido ajustada para
 $R_4 = 33,52 \, \Omega$ de potencial, indicando o equilíbrio da ponte.

de modo que a ponte tenha ficado equilibrada. Assim, usando A) Vamos chamar de T a temperatura do forno para o 15 a equação anterior, podemos calcular o valor R : 3 ajuste de $R = 15,0 \, \Omega$. Como a ponte está equilibrada, v

Em geral, nesse método, as resistências são conhecidas R_1, R_2, R_3 podemos calcular R_p pela relação a seguir: . v

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_p} \Rightarrow R_p = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

com bastante precisão. Assim, usando um galvanômetro

sensível, a resistência desconhecida é calculada também Substituindo esse valor na equação de temperatura

fornecida pelo enunciado, obtemos a temperatura do

com boa precisão.

forno:

à medição de grandezas físicas relacionadas com a Outra aplicação da ponte de Wheatstone refere-se $T = 500 + 10R = 500 + 10 \cdot 30,0 = 800 \, K = 527 \, ^\circ C$ p resistência elétrica. Por exemplo, a resistência de uma B) A faixa de temperaturas do sistema de medição

barra metálica depende da geometria e da resistividade é limitada pelos valores mínimo e máximo de

elétrica da barra. Essa última propriedade, por sua vez, R , $10,0 \, \Omega$ e $20,0 \, \Omega$. Substituindo esses valores na v

é função da temperatura. Assim, usando um procedimento equação da ponte equilibrada, obtemos os valores bastante semelhante ao descrito no parágrafo anterior, correspondentes de $R : p$

podemos obter o valor da temperatura em um ambiente $R = 10,0 \cdot 2,00 = 20,0 \, \Omega$ e $R = 20,0 \cdot 2,00 = 40 \, \Omega$ $p \, p \, \text{mín}$ por meio do cálculo da resistência de uma barra metálica. Substituindo essas resistências na equação de presente nesse local. Nesse caso, a barra faz o papel temperatura, obtemos a faixa de temperaturas que da resistência desconhecida da ponte de Wheatstone. o sistema pode medir: A determinação dessa resistência conduz ao valor da temperatura da barra e do local onde ela se acha. A seguir, $T_{\text{mín}} = 500 + 10R_p = 500 + 10 \cdot 20,0 = 700 \, \text{K} = 427 \, ^\circ\text{C}$

apresentamos o exercício resolvido 02, que descreve esse $T = 500 + 10R = 500 + 10 \cdot 40,0 = 900 \, \text{K} = 627 \, ^\circ\text{C}$ $\text{máx } p$ método de medição de temperatura.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

02. A figura a seguir mostra uma ponte de Wheatstone **01.** (PUC Minas) Leia atentamente as afirmativas a seguir.

usada para a medição da temperatura de um forno.

A resistência R é uma sonda de platina, cuja relação com p deve-se colocar o amperímetro em paralelo com o I . Para se medir a queda de potencial em um resistor,

a temperatura T é:

resistor

$T = 500 + 10R$ (Unidades: K, Ω)
II. Para se medir a corrente através de um resistor, deve-se

A resistência R pode ser ajustada de 10,0 até 20,0 Ω .
v colocar o voltímetro em paralelo com o resistor.

A razão entre as outras duas resistências é $R_1/R_2 = 2,00$.

R₂ colocar o amperímetro em série com o resistor.
III. Para se medir a corrente através de um resistor, deve-se

platina no Sonda de R_1 Assinale interior do Sinal para um

forno A) se apenas a afirmativa I é correta. milivoltímetro

R_2 B) se apenas a afirmativa II é correta. 2

C) se apenas a afirmativa III é correta.

Fonte de

tensão D) se as afirmativas I e III são corretas.

102 Coleção Estudo

Instrumentos de medidas elétricas

02. (UEL-PR) Sobre o funcionamento de voltímetros e o Analise as afirmações, considerando que a ponte de

funcionamento de amperímetros, assinale a alternativa Wheatstone esquematizada esteja em equilíbrio.

CORRETA. I. Os valores dos resistores R_1 , R_2 , R_3 e R_4 guardam a

A) A resistência elétrica interna de um voltímetro deve ^{2 3 4}

ser muito pequena para que, quando ligado em proporção dada pela expressão $R_1 R_2 = R_3 R_4$.

paralelo às resistências elétricas de um circuito, II. Mesmo que o gerador seja substituído por outro de

não altere a tensão elétrica que se deseja medir. força eletromotriz diferente, o galvanômetro indicará

B) A resistência elétrica interna de um voltímetro deve o valor zero.

ser muito alta para que, quando ligado em série às

resistências elétricas de um circuito, não altere a III. Os pontos B e D são equipotenciais, assim como o

tensão elétrica que se deseja medir. são os pontos A e C.

C) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve É

CORRETO o contido em

ser muito pequena para que, quando ligado em paralelo

às resistências elétricas de um circuito, não altere a A) II, apenas. D) I e III, apenas. intensidade de corrente elétrica que se deseja medir. B) III, apenas. E) I, II e III.

D) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve C) I e II, apenas.

ser muito pequena para que, quando ligado em série

às resistências elétricas de um circuito, não altere a

05. (UFRJ) No circuito esquematizado na figura, o voltímetro intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.

e o amperímetro são ideais. O amperímetro indica 2,0 A.

E) A resistência elétrica interna de um amperímetro

deve ser muito alta para que, quando ligado em série 8,0 Ω às resistências elétricas de um circuito, não altere a

intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.

03. (Cesgranrio) Um voltímetro representado pela letra V e um amperímetro representado pela letra A, ambos ideais, são $3,0 \, \Omega$ e $6,0 \, \Omega$ utilizados para medir a d.d.p. e a intensidade de corrente elétrica de um resistor R. Assinale a opção que indica uma maneira **CORRETA** de usar esses instrumentos.

A) D) $2,0 \, \Omega$ **FÍSICA**

A R R **CALCULE** a indicação do voltímetro. V

V A

B) E) **EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

A R R

V 01. Um técnico deve medir a resistência elétrica de uma

V A lâmpada em funcionamento, isto é, com esta ligada a

C) uma fonte de tensão. Ele dispõe de um ohmímetro, de um

amperímetro e de um voltímetro. O técnico sabe que a

R

A resistência interna do amperímetro é muitas vezes menor

V que a da lâmpada, mas que o voltímetro possui uma

resistência apenas algumas vezes maior que a da lâmpada.

04. (UFTM-MG–2007) Embora Wheatstone não tenha Entre as opções seguintes, escolha a mais **ADEQUADA**

...foi o criador da tão conhecida ponte de Wheatstone, para determinar a resistência da lâmpada acesa.

com certeza ele a utilizou em muitos experimentos.

A) Associar o voltímetro e o amperímetro em paralelo

galvanômetro deve ser zero, o que confere ao conjunto com a lâmpada e obter resistência da lâmpada Para que esse circuito cumpra sua finalidade, a leitura no

uma configuração de equilíbrio. multiplicando as leituras desses medidores.

B) Associar o voltímetro em paralelo com a lâmpada,

B

R_1 R_2 resistência dividindo a primeira medição pela segunda. o amperímetro em série com esse conjunto e obter a

A C C) Associar o amperímetro em série com a lâmpada, G

o voltímetro em paralelo com esse conjunto e obter a

R_3 resistência dividindo a segunda medição pela primeira. R_4

D) Associar o ohmímetro em paralelo com a lâmpada

D

e obter a resistência da lâmpada através da leitura

e direta fornecida por esse medidor.

Frente D Módulo 09

02. (UFMG–2009) Observe este circuito, constituído de três O valor da resistência do resistor R_2 , em ohm, e a leitura

resistores de mesma resistência R ; um amperímetro A ; do voltímetro, em volt, são, respectivamente, iguais a

uma bateria $\mathcal{E}$; e um interruptor S . A) 1,0 e 2,4.

A B) 2,0 e 0,8.

$\mathcal{E}$ S R C) 2,0 e 2,4.

R D) 1,0 e 0,8. R

E)
1,2
e
2,4.

Considere que a resistência interna da bateria e a do
06. (VUNESP / Adaptado) Um estudante utiliza-se das

amperímetro são desprezíveis e que os resistores são ôhmicos. Com o interruptor S inicialmente desligado, medidas de um voltímetro V e de um amperímetro A para

observa-se que o amperímetro indica uma corrente elétrica I . calcular a resistência elétrica de um resistor e a potência

Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que, dissipada nele. As medidas de corrente e voltagem foram

quando o interruptor S é ligado, o amperímetro passa a realizadas utilizando-se o circuito da figura.

indicar uma corrente elétrica

R

A) $2I/3$. B) $I/2$. C) $2I$. D) $3I$.

A

03. (Fatec-SP-2008) Num circuito elétrico, uma fonte, de força eletromotriz 18 V e resistência elétrica $0,50 \, \Omega$, alimenta três resistores, de resistências $1,0 \, \Omega$, $2,0 \, \Omega$ e $6,0 \, \Omega$, conforme a seguir representado.

O amperímetro indicou $3,0 \, \text{mA}$ e o voltímetro, $10 \, \text{V}$.

Cuidadoso, ele lembrou-se de que o voltímetro não é ideal

$18 \, \text{V}$, $1,0 \, \Omega$, $6,0$ e que é preciso considerar o valor da resistência interna Ω

$0,50$, $2,0 \, \Omega$ do medidor para se calcular o valor da resistência R .

Ω

A Se a especificação para a resistência interna do aparelho 1 A_2 é $10 \, \text{k}\Omega$, a resistência R obtida pelo estudante foi

As leituras dos amperímetros ideais A e A são, 1 2 A) $1,0 \, \text{k}\Omega$. D) $4,0 \, \text{k}\Omega$.

em ampères, respectivamente,

B) $2,0 \, \text{k}\Omega$. E) $5,0 \, \text{k}\Omega$.

A) $6,0$ e $4,5$. C) $4,0$ e $3,0$. E) $2,0$ e $1,5$.

C)
 $3,0$
 $\text{k}\Omega$.

B) $6,0$ e $1,5$. D) $4,0$ e $1,0$.

04. 07. (UFV-MG–2008) Um chuveiro C e um forno de micro-ondas M (Unifor-CE–2008) No circuito elétrico alimentado pela são ligados, como mostrado no circuito a seguir. fonte $\mathcal{E}$, tem-se três resistores com os valores de

considerados ideais. A resistência indicados e dois instrumentos de medida

120 V C M

V

10 Ω

$\mathcal{E}$ Sabendo que é de 4 800 W a potência dissipada pelo 30 Ω chuveiro e de 1 200 W a dissipada pelo forno de micro-ondas, 60 Ω

A a corrente medida pelo amperímetro ideal A será

A) 50 A. C) 30 A.

Se a leitura do amperímetro é 0,50 A, o voltímetro marca,

B) 10 A. D) 40 A.

em volts,

A) 45. B) 35. C) 25. D) 20. E) 15. **08.** (Mackenzie-SP)

Considerando o circuito a seguir e

05. (PUC-SP–2007) No circuito esquematizado a seguir, dispondo de um gal vanômetro ideal, podemos afirmar

duas pilhas idênticas de força eletromotriz 1,5 V estão que ele registraria uma intensidade de corrente igual a

associadas a três resistores: R Ω 1 de 1,0 , R₂ de resistência zero se

seus terminais fossem ligados aos pontos

não conhecida e R_3 , de $2,0 \, \Omega$. Para a montagem $2 \, \Omega \, 9 \, \Omega \, 1 \, \Omega \, 5 \, \Omega$ representada, a leitura do amperímetro ideal é $1,2 \, A$ e o C D E

voltímetro, colocado em paralelo a R_3 , é ideal.

A B

V $R_3 \, 36 \, \Omega \, 7 \, \Omega \, G \, 3 \, \Omega \, H \, 5 \, F \, \Omega \, V$

$1,5 \, 1,5$

$R_1 \, R$ Voltímetro 2

A) C e F. D) E e F.

B) D e G. E) C e H.

Amperímetro C) E e H.

104 Coleção Estudo

Instrumentos de medidas elétricas

09. (FESJC-SP) A ponte apresentada na figura a seguir está Nesse circuito, o amperímetro é ligado a uma bateria de

em equilíbrio. A resistência X vale $1,50 \, V$ e a uma resistência variável R . Inicialmente, os

terminais P e Q, indicados na figura, são conectados um

$120 \, \Omega$

$30 \, \Omega$ ao outro. Nessa situação, a resistência variável é ajustada

$10 \, \Omega \, X$ de forma que a corrente no circuito seja de $1,0 \times 10^{-3} \, A$.

G Guilherme utiliza esse circuito para medir a resistência R

de um certo componente. Para tanto, ele conecta esse

50 Ω componente aos terminais P e Q e mede uma corrente 300 Ω

de $0,30 \times 10^{-3}$ A. Com base nessas informações,

Gerador **DETERMINE** o valor da resistência R' .

A) 10 Ω . C) 90 Ω . E) 400 Ω .

B) 50 Ω . D) 300 Ω . **12.** (VUNESP) São dados dois miliamperímetros de marcas

10. dife rentes, M_1 e M_2 , cujas resistências internas são de

(FUVEST-SP-2010) Em uma aula de Física, os estudantes

receberam duas caixas lacradas, C e C', cada uma – 50 ohms e 100 ohms, respectivamente. Ambos podem

delas contendo um circuito genérico, formado por dois medir correntes de até 1 mA = 10^{-3} A (corrente de fundo

resistores (R de escala) e estão igualmente calibrados. **DETERMINE** e R), ligado a uma bateria de 3 V de tensão, $1/2$

conforme o esquema da figura a seguir. Das instruções as correntes que indicarão esses miliamperímetros nas

recebidas, esses estudantes souberam que os dois montagens representadas pelas figuras a seguir.

nulas e que o valor de R 0,30 mA era o mesmo nas duas caixas, $1/2$ resistores eram percorridos por correntes elétricas não

bem como o de R M_1 M_2 . O objetivo do experimento era $2/2$

descobrir como as resistências estavam associadas e

determinar seus valores. Os alunos mediram as correntes M 0,30

mA₁ elétricas que percorriam os circuitos das duas caixas, C e C', e obtiveram os valores $I = 0,06 \text{ A}$ e $I' = 0,25 \text{ A}$, respectivamente. M₂

Caixa 3 V Amperímetro **13.** (Unicamp-SP) A variação de uma resistência elétrica com a **FÍSICA**

temperatura pode ser utilizada para medir a temperatura

Circuito com de um corpo. Considere uma resistência R que varia com

R₁ e R₂ a temperatura T de acordo com a expressão:

$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

A) **COMPLETE** as figuras a seguir, desenhando, para – Em que $R = 100 \, \Omega$, $\alpha = 4 \times 10^{-2} \, ^\circ\text{C}^{-1}$ e T é dada em cada caixa, um esquema com a associação dos 0 graus Celsius. Essa resistência está em equilíbrio térmico resistores R e R₁ com o corpo, cuja temperatura T deseja-se conhecer.

3 V 3 V Para medir o valor de R, ajusta-se a resistência R₂,

indicada no circuito a seguir, até que a corrente medida

pelo amperímetro no trecho AB seja nula.

A

Caixa C ($I = 0,06 \text{ A}$) Caixa C' ($I' = 0,25 \text{ A}$)

B) **DETERMINE** os valores de R₁ e R₂. R₁ R₁

amperímetro. A **Note e adote:** Desconsidere a resistência interna do

$$T = ? C D$$

11. (UFMG–2006) Um amperímetro pode ser utilizado para R_2 medir a resistência elétrica de resistores. Para isso, monta-se

o circuito mostrado nesta figura:

B

Amperímetro

A

P A) Qual a temperatura T do corpo quando a resistência R_2 Bateria R' for igual a 108Ω ?

B) A corrente através da resistência R é igual a $5,0 \times 10^{-3} A$.

Q

Qual a diferença de potencial entre os pontos C e D

R indicados na figura?

Editora Bernoulli 105

Frente D Módulo 09

SEÇÃO ENEM 02. João não consegue ligar o seu aparelho de som usando o cabo bipolar mostrado na figura. Suspeitando que o

01. problema se devesse ao fato de o fio PS ou de o fio QR Os dispositivos que medem diretamente a corrente,

a tensão e a resistência elétrica são denominados de estar rompido, ou que houvesse um contato interno

amperímetro, voltímetro e ohmímetro, respectivamente. entre esses fios, João resolve testar o cabo usando um

É bastante comum a inclusão de todos esses medidores ohmímetro. Ligando esse aparelho entre os pontos



em um único aparelho, o multímetro, no qual a seleção da medição elétrica é feita através de uma chave.

Muitos multímetros são aptos a medir corrente e tensão contínuas ou alternadas.

A figura a seguir mostra um multímetro digital. O símbolo

“~” indica que o sinal de entrada (tensão ou corrente) P Q R S

medido é alternado, e o símbolo “—”, que o sinal é A) P e Q e medindo uma pequena resistência elétrica,

contínuo. Quando os dois símbolos aparecem juntos, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o

significa que o sinal pode ser alternado ou contínuo. motivo disso um contato interno entre os fios PS e QR.

B) R e S e registrando uma resistência elétrica infinita,

João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um rompimento do fio PS ou do fio QR.

C) P e R e registrando uma resistência infinita, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um contato interno entre os fios PS ou QR.

D) P e S e medindo uma pequena resistência elétrica,
João pode concluir que o cabo está danificado, sendo
o motivo disso um rompimento do fio PS.

AUTO-RANGE DMM E) Q e R e registrando uma resistência elétrica
infinita,

RANGE DATA - H NPN PNP João pode concluir que o cabo está danificado,
sendo o E E

B B motivo disso um contato interno entre os fios PS ou QR. C C

E E

nF μ F Hz hFE

Ω μ A - ~ **GABARITO**

V- mA - ~

V A - ~ **Fixação**

OFF OFF

01. C 02. D 03. C 04. A 05. 36 V

A **Propostos** mA Cx COM V Ω F

01. C 03. B 05. A 07. A 09. C

300 mA MAX C III 600 V 02. D 04. E 06. E 08. D

20A MAX FUSED C II 1000 V

FUSED 10. A) Para $I = 0,06$ A (a menor corrente), os
resistores estão ligados em série. Para

$I = 0,25 \text{ A}$, eles estão associados em paralelo.

3 V 3 V

Para medir a tensão em uma tomada de energia R_1

elétrica de sua casa, um estudante deve interligar R_1 R_2

um dos terminais da tomada ao borne “COM” desse R_2

multímetro. O outro terminal da tomada deve ser Caixa C ($I = 0,06$

A) Caixa C' ($I' = 0,25 \text{ A}$)

conectado ao borne

B) Um dos resistores tem resistência de 20Ω ,

A) “A”, e a chave central deve ser girada para a posição e o outro, de 30Ω , não importando a ordem.

“A – ~”. 11. $R' = 3,5 \text{ k}\Omega$

B) “A”, e a chave central deve ser girada para a posição 12. Na montagem dos amperímetros em série,

“mA – $I_1 = I_2 = 0,30 \text{ mA}$; na montagem dos amperímetros ~”.

C) “V em paralelo, $I_1 = 0,20 \text{ mA}$ e $I_2 = 0,10 \text{ mA}$ $\Omega \text{ F}$ ”, e a chave central deve ser girada para a 13.

A) $T = 2,0 \text{ }^\circ\text{C}$ posição “V ~”. B) $V_{CD} = 1,08 \text{ V}$ D) “V $\Omega \text{ F}$ ”, e a chave central deve ser girada para a

Seção Enem posição “V –”.

E) “V $\Omega \text{ F}$ ”, e a chave central deve ser girada para a 01. C 02. A

posição “ Ω ”.

106 Coleção Estudo